

Universidade de Lisboa
Faculdade de Medicina Dentária



Propriedades óticas de sistemas cerâmicos de alta resistência

Estudo laboratorial

João Carlos da Silva Roque

Doutoramento em Ciências e Tecnologias da Saúde
Especialidade de Prótese Dentária

2014

Universidade de Lisboa
Faculdade de Medicina Dentária



Propriedades óticas de sistemas cerâmicos de alta resistência

Estudo laboratorial

João Carlos da Silva Roque

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor
em Ciências e Tecnologias da Saúde,
especialidade de Prótese Dentária

Orientadores: Doutor Jaime Pereira Fontes de Almeida Portugal
Doutor Luís Filipe da Silva dos Santos,

2014

Na procura de igualar o vosso amor, dedicação e empenho!

À Carla

Ao Afonso e à Beatriz

Aos meus queridos Pais

AGRADECIMENTOS

A realização do trabalho que resultou nesta dissertação só foi possível com a colaboração de um conjunto de pessoas, às quais dirijo o meu mais sincero agradecimento.

Ao Professor Doutor Jaime Portugal, Professor Associado de Biomateriais da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade de Lisboa, meu mentor em grande parte da produção científica que tenho desenvolvido e orientador deste projeto de doutoramento, dirijo as minhas primeiras palavras. A disponibilidade sempre demonstrada para o apoio no delineamento e na realização deste trabalho, bem como o seu elevado saber, rigor científico e capacidade de trabalho foram sempre uma fonte de inspiração e segurança que procurarei utilizar como exemplo, dentro das minhas capacidades.

Ao Professor Doutor Luís Santos, Professor Auxiliar de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, também orientador deste projecto de doutoramento, pela forma como me acolheu e guiou numa área do saber, até então para mim quase desconhecida e inacessível. Agradeço o apoio na realização das tarefas a que me propus e a disponibilidade e simpatia sempre demonstrada.

Ao Professor Doutor António Vasconcelos Tavares, Professor Catedrático da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade de Lisboa, que desde a primeira hora foi um entusiasta deste projecto de doutoramento, tendo criado as condições iniciais para que ele se viesse a concretizar, o meu mais sentido agradecimento.

Ao colega e amigo Nuno Ferreira da Silva, que sempre me incentivou e apoiou profissionalmente e que em muito contribuiu para o meu alargar de horizontes. Evoco aqui a recordação do dia em que, com entusiasmo, me ofereceu o calibrador de cerâmica que utilizei neste trabalho. Lembras-te!!!

Ao colega e amigo João Paulo Martins, com quem partilho há muitos anos as alegrias e angústias da vida e com quem tenho partilhado um percurso académico cheio de obstáculos que não teria conseguido ultrapassar sem o seu inestimável apoio e incentivo.

Aos colegas da Faculdade de Medicina Dentária que ao longo destes anos têm estado presentes, apoiando, incentivando e sobretudo disponibilizando-se para com a sua generosidade dizer presente nos momentos em que lhes pedi auxílio. Entre eles não posso deixar de destacar a Sandra Ribeiro pelo precioso apoio que sempre me deu, a Teresa Albuquerque e o Henrique Luís pela partilha das suas experiências, a Catarina Cortes Martins por me ter aberto as portas do Instituto Superior Técnico, o José Manuel Fernandes e o José Seabra pelo apoio informático, o Hugo e o Tozé da manutenção pela ajuda na construção do suporte para o espectrofotómetro e finalmente à Dr^a Filipa Chasqueira e ao Dr. Gonçalo Barragan por me guiarem no departamento de Biomateriais.

De igual forma, agradeço aos colegas do laboratório Nuno Ferreira da Silva, Lda., com quem construí uma relação quase familiar nos últimos seis anos, que me apoiaram com a sua amizade, incentivo e generosa disponibilidade para colmatarem as minhas falhas ou ausências.

À empresa Nobel Biocare, que gentilmente cedeu grande parte do material utilizado para a realização dos trabalhos que conduziram a esta tese, agradeço na pessoa do seu diretor Sr. António Moutinho e de todos os colaboradores o apoio que ao longo destes anos sempre me concederam e a forma como me têm distinguido.

À empresa Zirkozahn, agradeço na pessoa do colega Luís Macieira, a cedência do material e da sua disponibilidade pessoal para a sinterização dos espécimes utilizados nos trabalhos desenvolvidos nesta tese.

À empresa VITA, na pessoa do colega Luís Pinela pela disponibilização do espectrofotómetro utilizado neste trabalho.

Por fim, porque os últimos são sempre os primeiros, um agradecimento muito especial à minha família, por aquilo que são e representam para mim e porque sem eles nada disto teria sentido. Deixo um pedido de desculpas por todas as horas de que vos privei da minha presença e companhia para levar a cabo este projeto.

Termino com um agradecimento a título póstumo ao Prof. Doutor Simões dos Santos pelo carinho que sempre me dispensou e por ter um dia sonhado e ter tornado realidade o ensino académico da prótese dentária em Portugal.

RESUMO

A presente tese inclui quatro estudos laboratoriais de materiais cerâmicos comercialmente usados em prótese dentária, tendo por objetivo estudar o comportamento ótico dos sistemas cerâmicos de alta resistência. Foram avaliados seis sistemas de alta resistência de zircônia, com infraestrutura de 0,4 mm de espessura e com 1,6 mm de espessura final, que foram comparados com um sistema de infraestrutura em alumina, na sua capacidade de transmitância (%T) e na diferença de cor (ΔE^*) para uma cor padrão, quando aplicados sobre oito fundos diferentes, representativos dos substratos possíveis em ambiente oral.

No primeiro estudo, comparou-se o comportamento do sistema com estrutura de alumina (NPALU) com os de estrutura de zircônia branca (NPZRW) e de zircônia colorida (médium) (NPZRC), todos da marca Nobelprocera, recobertas com três técnicas de recobrimento (estratificação, injeção/estratificação e injeção/pintura). Verificou-se que o recobrimento com as três técnicas faz diminuir a %T das estruturas e condiciona o efeito que os fundos podem ter na cor final das restaurações. As três técnicas apresentam o mesmo comportamento nos sistemas de zircônia, comportamento esse que é distinto no sistema de alumina. A técnica de injeção/pintura foi aquela que não permitiu obter resultados de ΔE^* dentro do limite de aceitabilidade clínica enquanto que a técnica de estratificação apresentou os melhores resultados para qualquer um dos três sistemas, permitindo mesmo que os sistemas de zircônia tenham resultados de ΔE^* dentro do limite de imperceptibilidade, independentemente do fundo. Esta técnica foi, assim, a opção considerada para os restantes estudos da tese.

No segundo estudo foram utilizados três sistemas de zircônia branca, um da marca NobelProcera (NPZRW) e dois da marca Zirkonzahn (ZZRTW e ZZRPW) bem como os seus equivalentes em zircônia colorida (NPZRC, ZZRTC e ZZRPC), comparados com o sistema de alumina (NPALU), num total de sete sistemas. Observou-se que as estruturas de zircônia colorida são menos translúcidas que as suas equivalentes brancas e todas elas bastante menos que a alumina. Apesar da diferente translucidez das estruturas em restaurações com

1,2 mm de cerâmica de recobrimento qualquer um dos sistemas estudados permite alcançar restaurações com ΔE^* dentro do limite de aceitabilidade clínica, independentemente do fundo. No entanto, só dois dos sistemas (NPZRW e NPZRC) se situam abaixo do limiar de perceptibilidade. Nos fundos Ag-Au-Pt e zircónia o sistema de alumina registou melhor desempenho que qualquer um dos sistemas de zircónia.

No terceiro estudo, só com sistemas com estrutura colorida (NPALU, NPZRC, ZZRTC e ZZRPC) verificou-se que a não utilização de cerâmica de “liner” aumenta a translucidez das restaurações o que implica uma maior influência dos fundos no ΔE^* das restaurações, ultrapassando o limite de aceitabilidade clínica para a maioria deles. As estruturas coloridas por si só não são um garante de maior facilidade na obtenção da cor de uma restauração.

No quarto e último estudo, um protocolo de queima modificado (com incremento lento e arrefecimento lento) mostrou um aumento e uniformização da translucidez dos sistemas de alta resistência (NPALU, NPZRW, ZZRTW e ZZRPC) e um aumento do ΔE^* das restaurações, sendo este menos acentuado no sistema de zircónia colorida estudado.

ABSTRACT

Four laboratory studies on commercially available materials used for Dental Prosthesis were performed to analyze the optical properties of high strength ceramic systems. Six different zirconia different systems were compared to an alumina system, all using 0,4mm thickness infrastructure and a total thickness of 1,6mm, to evaluate their total transmittance (%T) and color difference (ΔE^*) to a target color over eight different backgrounds, representing possible oral substrate for ceramic restorations.

The first study compared three different layering technics (traditional layering, press/layering and press/staining), using Nobel Procera alumina (NPALU), white zirconia (NPZRW) and medium colored zirconia (NPZRC) infrastructures veneered with NobelRondo ceramic systems. All three techniques reduced the transmission and had influence on the restoration color, equally affecting both zirconia systems and acting differently in the alumina system. Press/staining technique performed above of the clinical acceptability threshold ($\Delta E^* > 3,7$), while traditional layering exhibited the best results, allowing both zirconia systems to perform below the clinical perceptibility threshold ($\Delta E^* < 1,6$). Traditional layering was then selected for the next three studies.

In the second study, three white zirconia systems, one from Nobel Procera (NPZRW) and two from Zirkonzahn (ZZRTW and ZZRPW), as well as its colored zirconia equivalents (NPZRC, ZZRTC and ZZRPC) were compared with alumina (NPALU) in a total of seven systems. Colored zirconia systems are less translucent than white zirconia, all of them being less translucent than alumina. In spite of their difference's in translucency all seven ceramic systems, at a total thickness of 1,6mm, performed under the clinical acceptability threshold independently of the background. Only two (NPZRW and NPZRC) performed under the clinical perceptibility threshold. Over Ag-Au-Pt or zirconia background alumina performed better than any zirconia system.

The third study used only colored infrastructures (NPALU, NPZRC, ZZRTC and ZZRPC) and results showed that when “liner” ceramic isn’t used translucency is higher and the background has a greater influence on ΔE^* . Colored infrastructures *per se* didn’t performed better, since when “liner “ ceramic wasn’t used most systems performed above de clinical acceptability threshold.

Finally, the fourth study compared a modified sintering protocol (slow heating/slow cooling) versus the recommended ceramic sintering program, showing the former an increase and a more uniform translucency on the systems (NPALU, NPZRW, ZZRTW and ZZRPC) as well as an increase in the ΔE^* of the restorations, although less noticeable in the colored zirconia system used.

PALAVRAS CHAVE

Propriedades óticas

Transmitância

Diferença de cor (ΔE)

Zircónia

Alumina

KEYWORDS

Optical properties

Transmittance

Color differences (ΔE)

Zirconia

Alumina

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS..... i

RESUMOiii

ABSTRACT..... v

PALAVRAS CHAVE vii

1 INTRODUÇÃO..... 1

1.1 EVOLUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS
EM MEDICINA DENTÁRIA..... 3

1.2 CLASSIFICAÇÃO DAS CERÂMICAS DENTÁRIAS 7

1.2.1 *Classificação baseada em temperatura de fusão* 7

1.2.2 *Classificação baseada na estrutura e nas propriedades
mecânicas* 8

1.2.3 *Classificação baseada no método de fabrico*10

| | | |
|---------|--|----|
| 1.3 | SISTEMAS DE CERÂMICA | |
| | DE ALTA RESISTÊNCIA | 11 |
| 1.3.1 | <i>Caraterização e composição química</i> | 11 |
| 1.3.2 | <i>Propriedades óticas</i> | 12 |
| 1.4 | REVESTIMENTO DE ESTRUTURAS | |
| | DE ALTA RESISTÊNCIA..... | 16 |
| 1.4.1 | <i>Técnicas laboratoriais de aplicação da cerâmica de revestimento</i> | 16 |
| 1.4.2 | <i>Cerâmicas de base feldspática e ciclos de temperatura</i> | 16 |
| 1.4.3 | <i>Procedimentos laboratoriais susceptíveis de provocar alterações óticas ou mecânicas</i> | 19 |
| 1.5 | COR..... | 21 |
| 1.5.1 | <i>Observação da cor</i> | 23 |
| 1.5.1.1 | Seleção de cor | 23 |
| 1.5.1.2 | Escalas de cor..... | 25 |
| 1.5.1.3 | Equipamentos de seleção de cor e sistemas de medição de cor | 27 |
| 1.5.2 | <i>Limites de percepção visual</i> | 31 |
| 1.6 | TRANSLUCIDEZ | 32 |
| 1.6.1 | <i>Metodologias de medição da translucidez</i> | 33 |
| 1.6.2 | <i>Fórmulas de cálculo da translucidez</i> | 34 |

2 INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE RECOBRIMENTO NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | INTRODUÇÃO | 35 |
| 2.1.1 | <i>Cerâmica de infraestrutura</i> | 36 |
| 2.1.2 | <i>Técnicas de recobrimento</i> | 37 |
| 2.1.3 | <i>Influência dos fundos</i> | 38 |

| | | |
|-------------|--|----|
| 2.2 | OBJETIVOS | 40 |
| 2.3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 41 |
| 2.3.1 | <i>Preparação dos espécimes</i> | 43 |
| 2.3.1.1 | Preparação inicial | 43 |
| 2.3.1.2 | Técnicas de recobrimento..... | 44 |
| 2.3.1.2.1 | <i>Técnica de estratificação</i> | 47 |
| 2.3.1.2.1.2 | Aplicação de camada de dentina | 49 |
| 2.3.1.2.1.3 | Aplicação de camada de incisal..... | 50 |
| 2.3.1.2.1.4 | Aplicação de camada de “glaze” | 51 |
| 2.3.1.2.2 | <i>Técnica de injeção/estratificação</i> | 52 |
| 2.3.1.2.2.1 | Aplicação de cerâmica de dentina | 52 |
| 2.3.1.2.2.2 | Aplicação de cerâmica de incisal..... | 53 |
| 2.3.1.2.2.3 | Aplicação de cerâmica de “glaze” | 54 |
| 2.3.1.2.3 | <i>Técnica de injeção/pintura</i> | 54 |
| 2.3.1.2.3.1 | Aplicação de cerâmica de dentina | 54 |
| 2.3.1.2.3.2 | Aplicação de pigmentos extrínsecos..... | 55 |
| 2.3.1.2.3.3 | Aplicação de cerâmica de “glaze” | 55 |
| 2.3.2 | <i>Espectrofotometria de transmissão de UV/Visível</i> | 56 |
| 2.3.2.1 | Acessório para posicionamento de espécimes..... | 57 |
| 2.3.3 | <i>Espectrofotometria de reflexão</i> | 58 |
| 2.3.3.1 | Fundos de reflexão (substratos de restaurações) | 58 |
| 2.3.3.2 | Acessório para posicionamento do espectrofotômetro..... | 59 |
| 2.3.4 | <i>Análise estatística</i> | 60 |
| 2.4 | RESULTADOS..... | 61 |
| 2.4.1 | <i>Espectrofotometria de transmissão</i> | 61 |
| 2.4.2 | <i>Espectrofotometria de reflexão</i> | 68 |
| 2.5 | DISCUSSÃO | 76 |
| 2.5.1 | <i>Discussão da metodologia</i> | 76 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 2.5.2 | <i>Transmitância</i> | 80 |
| 2.5.3 | <i>Diferenças de cor</i> | 83 |
| 2.6 | CONCLUSÕES | 87 |

3 INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA CERÂMICA NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 89 |
| 3.1.1 | <i>Fatores de manipulação que modificam o comportamento das cerâmicas cristalinas</i> | 90 |
| 3.1.2 | <i>Fatores que influenciam a translucidez e cor das restaurações</i> | 91 |
| 3.1.3 | <i>Influência do material de estrutura sobre a translucidez e cor da restauração</i> | 94 |
| 3.2 | OBJETIVOS | 95 |
| 3.3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 96 |
| 3.3.1 | <i>Manipulação dos espécimes</i> | 97 |
| 3.3.1.1 | Preparação inicial | 97 |
| 3.3.1.2 | Técnicas de recobrimento | 99 |
| 3.3.2 | <i>Espectrofotometria de transmissão/reflexão</i> | 100 |
| 3.3.3 | <i>Análise estatística</i> | 100 |
| 3.4 | RESULTADOS | 101 |
| 3.4.1 | <i>Espectrofotometria de transmissão</i> | 101 |
| 3.4.2 | <i>Espectrofotometria de reflexão</i> | 105 |
| 3.5 | DISCUSSÃO | 120 |
| 3.5.1 | <i>Transmitância</i> | 122 |
| 3.5.2 | <i>Diferenças de cor</i> | 126 |
| 3.6 | CONCLUSÕES | 131 |

4 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE “LINER” NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 133 |
| 4.1.1 | Pigmentação de estruturas cristalinas de alta resistência | 134 |
| 4.2 | OBJETIVOS | 135 |
| 4.3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 136 |
| 4.3.1 | <i>Análise estatística</i> | 138 |
| 4.4 | RESULTADOS..... | 138 |
| 4.4.1 | <i>Espectrofotometria de transmissão</i> | 138 |
| 4.4.1 | <i>Espectrofotometria de reflexão</i> | 142 |
| 4.5 | DISCUSSÃO..... | 146 |
| 4.5.1 | <i>Influência da cerâmica de “liner” na transmitância</i> | 147 |
| 4.5.2 | <i>Influência da cerâmica de “liner” na cor</i> | 148 |
| 4.6 | CONCLUSÕES | 150 |

5 INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO PROTOCOLO DE QUEIMA NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | INTRODUÇÃO | 151 |
| 5.2 | OBJETIVOS | 153 |
| 5.3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 154 |
| 5.3.1 | <i>Análise estatística</i> | 156 |
| 5.4 | RESULTADOS..... | 157 |
| 5.4.1 | <i>Espectrofotometria de transmissão</i> | 157 |
| 5.4.2 | <i>Espectrofotometria de reflexão</i> | 160 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5.5 | DISCUSSÃO..... | 165 |
| 5.5.1 | <i>Influência da alteração do protocolo de queima na transmitância</i> | 166 |
| 5.5.2 | <i>Influência da alteração do protocolo de queima na cor</i> | 168 |
| 5.6 | CONCLUSÕES | 170 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 171 |
| 7 | SUGESTÕES DE TRABALHO FUTURO..... | 175 |
| ÍNDICES | | |
| | ÍNDICE DE FIGURAS..... | 203 |
| | ÍNDICE DE TABELAS..... | 211 |
| APÊNDICE | | |
| | DADOS DOS ESTUDOS..... | 213 |

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, as restaurações de metalo-cerâmica têm sido consideradas a restauração padrão para a realização de reabilitações protéticas fixas. As suas propriedades mecânicas, previsibilidade, ajuste marginal e satisfatório resultado estético tem contribuído para que sejam consideradas como “gold standard” por diversos autores (Pjetursson *et al.*, 2007; Sailer *et al.*, 2007; Zarone *et al.*, 2011). Contudo, apesar de aceitável, o seu ajuste de cor à dentição natural é muitas vezes considerado fraco (Stevenson *et al.*, 2010). A opacidade da estrutura metálica poderá condicionar as propriedades óticas da restauração final. Recorrendo a este tipo de restauração é muitas vezes difícil mimetizar o equilíbrio entre a translucidez e a opacidade dos tecidos dentários (Zarone *et al.*, 2011).

A crescente exigência de padrões estéticos, por parte dos pacientes, fez com que fossem desenvolvidos novos materiais. Têm vindo a ser lançados no mercado diversos materiais cerâmicos de elevada resistência capazes de, em algumas situações clínicas, substituir as ligas metálicas para o fabrico de infraestrutura de restaurações protéticas fixas. A elevada resistência mecânica destas cerâmicas é devida a um aumento substancial da percentagem de fase cristalina. Nas cerâmicas de alumina a fase cristalina pode representar mais de 50% do volume total da cerâmica, enquanto que nas zircónias pode ultrapassar os 99%. No entanto, tal aumento da fase cristalina tem implicações ao nível do comportamento óptico, uma vez que a luz é dispersa de forma diferente do observado nas cerâmicas tradicionais, que contêm uma elevada percentagem de fase vítrea (Andersson *et al.*, 1993). De facto, a translucidez da alumina é menor que a das cerâmicas de base feldspática e a zircónia é mais opaca que a alumina

(Heffernan *et al.*, 2002; Sadan *et al.*, 2005; Ban, 2008). Devido a esse facto, a realização de restaurações dentárias exclusivamente em alumina ou zircónia não tem mostrado possibilitar alcançar resultados estéticos elevados. No entanto, nos últimos anos devido à alteração da composição das cerâmicas de zircónia, nomeadamente pelo aumento da quantidade de alumina (Ban, 2008; Jardel *et al.*, 2011), foi possível reduzir um pouco a opacidade deste material e a sua utilização em monobloco. No entanto, em situações clínicas com elevada exigência estética torna-se ainda necessário o recurso a outro tipo de cerâmicas ou a utilização da alumina e zircónia apenas para o fabrico de infraestruturas, que são depois recobertas com cerâmica feldspática tradicional (Luo *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011).

Apesar do exposto, o aumento da translucidez do material de infraestrutura nem sempre é um fator positivo. Quando na presença de cotos pigmentados ou realizados em metal, a restauração a realizar deverá ser capaz de mascarar a cor escura ou intensa dos cotos (Vichi *et al.*, 2011). Nestes casos, tanto o material utilizado na infraestrutura, como a cerâmica de revestimento e também a sua técnica de aplicação, poderão assumir um papel muito importante nas características óticas da restauração final.

A aplicação de uma cerâmica opaca, vulgarmente apelidade de cerâmica liner, sobre a infraestrutura tem sido recomendada como uma peça importante na modelação do aspeto ótico final da restauração, no entanto, são escassos os estudos sobre este tema (Vichi *et al.*, 2011).

Por outro lado, apesar da técnica de estratificação continuar a ser associada a elevados padrões estéticos (Heffernan *et al.*, 2002), não existem estudos que, utilizando a mesma cerâmica de recobrimento, avaliem a influência das diversas técnicas de aplicação disponíveis: estratificação, injeção e pintura (Özkurt Z., 2010).

Finalmente, tendo em vista a resolução de alguns problemas mecânicos verificados neste tipo de restaurações, têm surgido ultimamente algumas recomendações para a alteração do seu processo de fabrico, nomeadamente do protocolo de queima ou sinterização da cerâmica de revestimento, cujas implicações nas características óticas da restauração ainda se encontram mal definidas (Tan *et al.*, 2012).

A investigação deve assim direcionar-se para as propriedades óticas dos materiais de estrutura, antes e depois da aplicação de cerâmicas de recobrimento, procurando perceber a influência da cerâmica de núcleo, das características da cerâmica de revestimento e das características do coto no comportamento ótico da restauração final, tendo em mente o limiar de percepção do olho humano para as diferenças cromáticas (Spyropoulou *et al.*, 2011).

1.1 Evolução da utilização de materiais cerâmicos em Medicina Dentária

O francês Pierre Fauchard, considerado por muitos como o pai da dentisteria moderna, foi o primeiro a sugerir em 1728 a utilização da cerâmica para construção de próteses dentárias (Yamada, 1977). Mas apenas anos mais tarde, em 1790, Nicholas Dubois de Chemant fabricou, a partir da ideia de Alexis Duchateau, a primeira prótese bimaxilar totalmente em cerâmica (Jones, 1985). O desenvolvimento das primeiras restaurações unitárias fixas totalmente em cerâmica, denominadas por “Jacket Crowns”, é atribuído a Land, em 1887. O desenvolvimento de restaurações parciais do tipo “inlay”, foram inicialmente concebidas em 1900, por Brewster (Anusavice, 1991).

A preocupação com a estética levou a que desde cedo, se tentasse o desenvolvimento de materiais de restauração com características óticas semelhantes às do dente. Neste sentido, a cerâmica branca e opaca utilizada por Dubois de Chemant foi tornada mais translúcida e com cores mais próximas das apresentadas pelos dentes naturais, em 1938, por Elias Wildman (Felcher, 1932; Clark, 1976). No entanto, as limitadas propriedades mecânicas das cerâmicas feldspáticas tradicionais condicionou, durante muitos anos, a utilização deste material de forma isolada para a realização de reabilitações orais fixas (Jones, 1985; Yamada, 1977; Clark, 1976). Na maior parte das situações clínicas, a utilização de restaurações cerâmicas estava condicionada à sua associação a uma estrutura interna em metal que lhe servia de reforço. Assim, durante mais de cinquenta anos, grande parte dos esforços de desenvolvimento e investigação centraram-se na tentativa de maximização do mecanismo de união entre a

cerâmica de revestimento e as ligas metálicas utilizadas na infraestrutura (Clark, 1976).

Paralelamente, foi realizado um esforço com o intuito de, alterando a composição da cerâmica feldspática tradicional, conseguir o aumento das suas propriedades mecânicas. No início da década de 1950, Stookey, desenvolveu para a Corning Glass Works (Corning, NY, USA) uma cerâmica vítrea reforçada com várias formas de mica. McLean and Hughes introduziram, na década de 1960, o óxido de alumínio, também conhecido como alumina (Al_2O_3), para o reforço interno das cerâmicas dentárias convencionais. A fase cristalina à base de quartzo foi parcialmente substituída por alumina de forma a que esta representasse entre 40 a 50% dos componentes desta cerâmica (McLean *et al.*, 1965). Este aumento percentual de fase cristalina, conduziu a um aumento significativo da sua resistência mecânica, que possibilitou a produção de coroas totalmente em cerâmica para a restauração de dentes anteriores (Grossman *et al.*, 1987). Estas, eram confeccionadas com um núcleo de cerâmica reforçada com alumina, sobre o qual era aplicada cerâmica feldspática tradicional de revestimento (McLean *et al.*, 1965).

O alargamento do espectro de utilização de restaurações totalmente em cerâmica para a reabilitação de dentes posteriores e a restaurações múltiplas anteriores de 3 elementos foi possível devido ao desenvolvimento de novas cerâmicas utilizadas pela técnica de injeção. Este método, desenvolvido na Universidade de Zurich, na Suíça, foi apresentado em 1987 com o nome de técnica de injeção/pressão a vácuo, por Peter Scharer, e foi comercializado em 1991, utilizando uma cerâmica vítrea reforçada com leucita (Empress, Ivoclar – Vivadent). Anos mais tarde, em 1998, sofreu uma evolução com a introdução de uma cerâmica vítrea de dissilicato de lítio (Empress 2, Ivoclar – Vivadent) (Wohlwend, 2007).

Em 1988, Sadoun apresentou em Paris a técnica de aplicar uma suspensão de alumina sobre troqueis de gesso (Slip Casting) para fabricar coroas e pontes anteriores em alumina (Sadoun, 1988). Foi o primeiro a desenvolver uma infraestrutura de alta resistência não densamente sinterizada, com base em 85% de alumina posteriormente infiltrada com vidro, que foi comercializada em 1990 com o nome de In-Ceram® (Vita® Zahnfabrick, Germany) (Probster *et al.*,

1992). Posteriormente, o material foi modificado e transformado em dois outros tipos de soluções que utilizam a mesma técnica de fabrico. O In-Ceram® Spinell, modificado com magnésio para melhorar as propriedades óticas e destinado a restaurações anteriores e o In-Ceram® Zirconia, com 30% de zircónia tetragonal adicionada a 69% de alumina, com indicação para restaurações unitárias e múltiplas parciais até três elementos.

No fim da década de 1980 surgiram também as primeiras restaurações de cerâmica produzidas com recurso a tecnologia CAD-CAM (Desenho Assistido por Computador/Produção Assistida por Computador). Mormann e Brandestini apresentaram, em 1989, o primeiro sistema para produção de “inlays” em cerâmica vítrea no consultório dentário (Cerec 1 – Siemens - Sirona). O sistema tinha por base uma impressão ótica que era transformada numa imagem 3D e sobre a qual a restauração era desenhada em CAD. A partir deste desenho, um bloco de cerâmica era posteriormente fresado na unidade CAM, utilizando um sistema com três eixos de corte (Schmidseder, 2000). Este sistema evoluiu, em 1993, para o Cerec 2 e, em 2001, para o Cerec 3, aumentando o tipo de restaurações e estruturas que são fabricadas atualmente, por modificação das máquinas de CAM que operam no consultório/laboratório e ainda por introdução de um sistema “outsourcing” para produção de estruturas metálicas (Poujade et al., 2004). Os sistemas de CAD-CAM que foram sendo desenvolvidos desde então foram maioritariamente dirigidos ao laboratório para produção de infraestruturas de cerâmica de alta resistência, porque o resultado estético das restaurações finais produzidas com CAD-CAM a partir de materiais monolíticos não apresentavam um resultado estético comparável ao alcançável com técnicas laboratoriais de estratificação das cerâmicas dentárias.

A introdução da zircónia parcialmente estabilizada com ítria (Y-TZP - cristais de zircónia tetragonal estabilizada com óxido de ítrio – $3Y_2O_3-ZrO_2$) na área dentária aconteceu no início da década de noventa por ser um material cerâmico altamente biocompatível e com elevada resistência mecânica. Tais características, fazem dele um material de primeira escolha para a reabilitação protética em áreas da cavidade oral, onde a resistência mecânica seja mais importante do que a estética (Raigrodski, 2004; Sadan, 2005).

O processo de produção de alumina ou zircónia densamente sinterizada pode ser realizado por fresagem de blocos de material em estado de sinterização parcial ou total. A fresagem de blocos totalmente sinterizados foi introduzido pelo sistema DCS Precedent® (DCS Dental AG, Germany) em 1991 (Besimo *et al.*, 2001). Este método não comporta o risco de introduzir alterações dimensionais mas é bastante mais dispendioso, demorado (Sadan *et al.*, 2005) e pode comprometer a microestrutura e resistência do material (Luthard *et al.*, 2004). A fresagem de blocos parcialmente sinterizados pode ser alcançado por dois métodos: a compactação do material sobre um troquel aumentado na mesma proporção em que o material irá contrair durante a sinterização ou a fresagem da peça num tamanho maior correspondente ao volume de contração que o material terá (Sadan *et al.*, 2005). O primeiro método foi desenvolvido em 1993 por Matts Andersson para fabrico de coroas de cerâmica com infraestrutura de alumina pura (Andersson *et al.*, 1993). Esta nova técnica/restauração foi comercializada com o nome de Procera® AllCeram Alumina (Procera®, Nobel Biocare™ AB, Sweden) e foi desenvolvida pela Nobel Biocare, na Suécia, para a área da medicina dentária, utilizando tecnologia CAD-CAM (Andersson *et al.*, 1998). Este foi o primeiro sistema a utilizar o conhecimento sobre as exatas alterações dimensionais que acontecem durante a fase de sinterização da alumina (Sadan *et al.*, 2005). A produção é feita a partir do desenho de infraestrutura feita em CAD, após a digitalização de um troquel com um scanner de contacto, realizado no laboratório de prótese e enviado via internet para a fábrica de produção. A alumina é compactada sobre uma réplica aumentada do troquel em material refractário e sinterizada a alta temperatura num forno industrial. O resultado é uma infraestrutura com um ajuste dimensional ao troquel de grande precisão. O sistema introduziu em 2001 a zircónia para produção de infraestruturas unitárias, em 2003/2004 para estruturas múltiplas e pilares para implantes e finalmente em 2007 para estruturas múltiplas aparafusadas.

A utilização do método de fresagem de zircónia por sobredimensionamento foi utilizado com recurso a um fresador manual do tipo pantógrafo em 2000 por Enrico Stieger. Nesta técnica um bloco de zircónia Y-TZP é fresado num dos suportes do pantógrafo com um aumento volumétrico

aproximadamente de 30%, a partir da informação tateada por uma ponta analisadora na superfície de uma maquete da peça colocada no outro suporte do equipamento. A peça fresada é posteriormente sinterizada a alta temperatura atingindo o volume correto e a resistência final. Este método é utilizado para fresagem de restaurações cimentadas e aparafusadas, unitárias ou múltiplas.

Finalmente, em 2007 Enrico Stiegger desenvolveu a zircónia Prettau (Zirkonzahn, Italy). Esta zircónia Y-TZP com propriedades óticas optimizadas pode ser utilizada em estruturas ou em restaurações monolíticas. O fabrico de restaurações monolíticas em zircónia alarga o campo de utilização de materiais cerâmicos cristalinos, que até agora eram apenas utilizados como estrutura de suporte às cerâmicas de base vítrea.

1.2 Classificação das cerâmicas dentárias

A diversidade de materiais cerâmicos torna difícil a uniformização da sua classificação, encontrando-se na literatura diversos tipos de classificação. Assim é possível encontrar classificações baseadas na temperatura de fusão, na composição química, no tipo de estrutura e no método de fabrico.

1.2.1 Classificação baseada em temperatura de fusão

A classificação das cerâmicas dentárias relativamente à temperatura de fusão apresenta quatro categorias: cerâmicas de alta fusão (1201°C-1450°C), cerâmicas de média fusão (1051°C-1200°C), cerâmicas de baixa fusão (850°C-1050°C) e cerâmicas de ultrabaixa fusão (< 850°C) (O'Brien, 2002). As cerâmicas de alta e média fusão são utilizadas na produção de dentes pré-fabricados para prótese removível. As de média fusão podem ainda ser ocasionalmente utilizadas no fabrico de pônticos pré-formados (Engelmeier, 1996). As cerâmicas de baixa fusão, por terem na composição uma percentagem elevada de feldspato de sódio e de potássio, são bastante estáveis quimicamente a queimas de sinterização consecutivas e indicadas para a produção de restaurações unitárias sobre refratário ou para aplicação sobre estruturas de metal (Drumond *et al.*, 2000;

Kon *et al.*, 2001; Poujade *et al.*, 2004). As cerâmicas de ultrabaixa fusão são indicadas para recobrimento de ligas de titânio ou de ouro, com baixo intervalo de fusão, e na reparação das cerâmicas de baixa fusão (Poujade *et al.*, 2004). Esta classificação não prevê o enquadramento para as cerâmicas de alta resistência de alumina ou zircônia, hoje utilizadas para fazer infraestruturas e que são sinterizadas a temperaturas superiores a 1450°C. Desta forma, talvez faça sentido criar uma nova categoria denominada de cerâmicas de ultra-alta fusão, que inclua o intervalo de 1451°C a 1750°C. Assim, incluiria todos os materiais cerâmicos utilizados na área dentária, independentemente de serem utilizados como materiais de estrutura ou de recobrimento.

1.2.2 Classificação baseada na estrutura e nas propriedades mecânicas

Quando se classificam as cerâmicas dentárias relativamente à sua estrutura temos que distinguir duas fases: uma vítrea e outra cristalina. O material pode apresentar as duas fases em proporções variáveis ou apresentar apenas fase cristalina. De um modo geral, as cerâmicas feldspáticas apresentam uma elevada percentagem de fase vítrea, também chamada de matriz de vidro, de cerca de 75 a 85% por volume e são reforçadas com vários tipos de estruturas cristalinas (Denry *et al.*, 1995). A escolha do tipo de estrutura cristalina a adicionar às cerâmicas feldspáticas é determinado pela forma de aumento da resistência mecânica e pela necessidade de ajuste do coeficiente de expansão térmica do material no qual o material é disperso. Esse reforço pode ser feito utilizando cristais de alumina, magnésio, leucita, disilicato de lítio ou zircônia em diversas percentagens. Quando a percentagem de material cristalino ultrapassa os 95% estamos em presença de materiais cristalinos de alta resistência, geralmente de alumina ou zircônia. A necessidade de aumentar a resistência mecânica dos núcleos levou a uma inversão nas percentagens de material vítreo em relação ao material cristalino.

Assim no sistema In-Ceram a quantidade de alumina foi elevada para 75% e o material é infiltrado com uma cerâmica vítrea de sódio e lantânio (McLean, 2001). No In-Ceram Alumina, a resistência à fratura é de 500 MPa, a sua tenacidade é de 3,9 MPa m^{1/2} e o seu módulo de elasticidade é de 280 GPa (Ban,

2008). O In-Ceram Spinell utiliza o mesmo princípio mas com uma mistura de alumina e magnésio (Conrad, 2007) e por isso apresenta uma resistência à fratura de 400 MPa, uma tenacidade de $2,7 \text{ MPa m}^{1/2}$ e um módulo de elasticidade de 185 GPa (Ban, 2008). O In-Ceram Zirconia, também com o mesmo princípio, adiciona 35% de óxido de zircónio parcialmente estabilizado a 40% de alumina (Conrad, 2007). A introdução do óxido de zircónia no material In-Ceram alterou as propriedades, conferindo-lhe uma resistência à fratura de 600 MPa, uma tenacidade de $4,4 \text{ MPa m}^{1/2}$ e um módulo de elasticidade de 258 GPa (Ban, 2008). O reforço com alumina atingiu o seu expoente máximo com o sistema Procera no qual os núcleos cerâmicos utilizam alumina de grande pureza numa percentagem superior a 99,9% e que só foi possível ser utilizada devido ao exato conhecimento do grau de contração da alumina e da introdução da tecnologia CAD-CAM (McLean, 2001). As estruturas Procera AllCeram apresentam uma resistência à fratura de 687 MPa, uma tenacidade de $4,5 \text{ MPa m}^{1/2}$ e um módulo de elasticidade de 420 GPa (Ban, 2008).

A Leucita é também utilizada para reforço cristalino, podendo ser utilizada entre 35 a 45% do volume do material (Denry *et al.*, 1995). Este tipo de reforço foi utilizado no sistema inicial IPS Empress (Ivoclar, Liechtenstein) utilizando a técnica de injeção/pressão para restaurações unitárias, tendo uma resistência à fratura na ordem de 180 MPa, sendo utilizado atualmente com uma nova formulação de partículas mais finas na mesma técnica pelo sistema CZR Press (Noritake, Japan) (Christensen *et al.*, 2010). É também utilizado como material de revestimento de estruturas de zircónia e em blocos multicoloridos IPS ProCad (Ivoclar, Liechtenstein) para fresagem em CAD-CAM (Guess, 2011). A leucita foi substituída pelo dissilicato de lítio ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) como material de reforço no sistema IPS Empress II (Ivoclar, Liechtenstein) e mais recentemente no sistema IPS e.Max Press e IPS e.Max CAD (Ivoclar, Liechtenstein). O conteúdo de dissilicato de lítio é bastante superior ao de leucita sendo aproximadamente 70% do volume do material, o que permite aumentar a resistência à fratura (Guess, 2011). Neste sistema a resistência à fratura é de 400 MPa, a tenacidade é de $3,3 \text{ MPa m}^{1/2}$ e o módulo de elasticidade é de 96 GPa (Ban, 2008).

A utilização de zircónia como material de reforço da estrutura das cerâmicas dentárias teve início com o sistema In-Ceram Zirconia como referido

anteriormente e desde a década de noventa ganhou uma importância acrescida. Apesar de existirem várias formulações de zircónia, com conteúdos de ZrO_2 que podem atingir os 95%, para utilização na área dentária encontramos as seguintes: zircónia parcialmente estabilizada com ítria (Y-TZP ou $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$; ex: Procera; Zirkonzahn); zircónia parcialmente estabilizada com magnésio (Mg-TZP ou MgO-ZrO_2 ; ex: Denzir); alumina reforçada com zircónia e infiltrada com vidro (ZTA ou $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ce-ZrO}_2$; ex: In-Ceram); zircónia com sílica (ZrSiO_4 ; ex: Kavo Heverest HPC) e zircónia parcialmente estabilizada com cério e nano partículas de alumina (Ce-TZP/ Al_2O_3 nano ou $\text{Ce-ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nano; ex: NANOZR). Destas, quatro delas são materiais bifásicos (ZTA, Mg-TZP, ZrSiO_4 e Ce-TZP/ Al_2O_3 nano) e apenas Y-TZP é um material monofásico cristalino que apresenta baixa porosidade e grande densidade, sendo atualmente o mais popular e mais utilizado comercialmente para aplicações na área dentária (Zarone *et al.*, 2011). Apesar do material sofrer ligeiras alterações com a formulação ou processo de fabricação as suas propriedades mecânicas apresentam valores aproximados de resistência à fratura de 1200 MPa, uma tenacidade de $10 \text{ MPa m}^{1/2}$ e um módulo de elasticidade de 210 GPa (Ban, 2008).

1.2.3 Classificação baseada no método de fabrico

As cerâmicas dentárias podem ser utilizadas com diversos métodos de preparação. O método mais tradicional é o de estratificação em que a cerâmica em pasta é aplicada com pincel. Contudo, a evolução das técnicas permitiu utilizar outros processos tecnologicamente mais evoluídos e que foram adaptados de outras áreas ou mesmo de outros procedimentos com outros materiais dentários. Na literatura encontramos referência a outros cinco métodos: fundição por centrifugação (ex. Dicor); injeção/pressão (ex. IPS Empress); eletrodeposição (ex. WolCeram); slip-casting ou suspensão sobre gesso e infiltração (ex. InCeram) e CAD-CAM (ex. Procera) (Ban, 2008). Deve acrescentar-se ainda o método de fresagem manual com sistema de pantógrafo (ex: Zirkonzahn) (Duran *et al.*, 2012). É de referir que nos processos CAD-CAM existe uma variedade de processos CAM que devem ser distinguidos e que dependem do equipamento utilizado ou do grau de consistência em que o

material se encontra. Um dos processos, utilizado pelo sistema Procera consiste na fresagem da alumina ou zircónia a partir de compactação a seco por pressão isostática do material sobre um troquel de revestimento (aumentado aproximadamente 20 a 30%), sendo feita a sinterização até à temperatura final sem suporte (Zarone *et al.*, 2011). Este processo é denominado habitualmente por “Hot-Pressing”, sendo a pigmentação da zircónia feita na fase de pó. É um sistema do tipo “outsourcing”, que utiliza sistema CAM industrial robotizado (Sadan *et al.*, 2005). . A utilização de material em blocos, prensados manual ou isostaticamente, parcialmente sinterizados (em estado verde) que são fresados em dimensões aumentadas 20 a 30 % para compensar o grau de contracção do material é outro método, sendo utilizado pela generalidade dos sistemas que produzem infra-estruturas para restaurações totalmente cerâmicas (Guess, 2011). A fresagem destes blocos é feita a seco por fresadoras de 3 a 6 eixos em função da complexidade das formas a serem obtidas. Outro processo CAM também utilizado é a fresagem de blocos de materiais cerâmicos totalmente sinterizados para fabrico de restaurações em cerâmicas vítreas, como no sistema Cerec (Sirona, Germany), ou para fabrico de estruturas de zircónia, como no sistema Denzir (Denzir, Sweden) ou DC-Zirkon (DCS Dental, Germany).

1.3 SISTEMAS DE CERÂMICA DE ALTA RESISTÊNCIA

1.3.1 Caracterização e composição química

Quando a percentagem de material cristalino ultrapassa os 95% estamos em presença de materiais cristalinos de alta resistência, também considerados como monofásicos (Denry *et al.*, 2008, Li *et al.*, 2014). Na área dentária os sistemas de alta resistência incluem a alumina e a zircónia. Contudo, o ênfase tem sido posto maioritariamente na zircónia, devido às suas propriedades mecânicas superiores, mas também pelos aspectos controversos do seu desempenho clínico (Guess *et al.*, 2011).

Os sistemas de alta resistência de alumina, como o sistema Nobel Procera Alumina, são materiais homogêneos com 99,9% de óxido de alumínio em estado

poli-cristalino de elevada pureza e isentos de leucita (Anderson *et al.*, 1993; Zarone *et al.*, 2011).

Nos sistemas de alta resistência de zircónia, esta aparece parcialmente estabilizada na sua fase tetragonal, usualmente pela adição de 3% mol de ítria (Hannink *et al.*, 2000). Nestes sistemas cerâmicos (3Y-TZP) estão incluídos os sistemas Nobel Procera Zircónia, Zirkonzahn ICE Transluzent e Zirkonzahn Prettau. A microestrutura destas cerâmicas de zircónia para aplicações na área dentária consiste em pequenos grãos equiaxiais que têm entre 0,2 e 0,5 μm , de diâmetro, em função da temperatura de sinterização (Denry *et al.*, 2008; Baldissara *et al.*, 2010). O tamanho de grão tem um papel importante nas propriedades mecânicas de 3Y-TZP (Green *et al.*, 1988; Burger *et al.*, 1997; Ruiz *et al.*, 1996). Acima dum tamanho de grão de 1 μm , considerado crítico, a zircónia 3Y-TZP é menos estável e mais susceptível a transformações espontâneas da fase tetragonal em fase monoclinica, enquanto que um tamanho de grão inferior a 1 μm é associado a um ritmo de transformação mais baixo (Heuer *et al.*, 1982). Mais ainda, com um grão de tamanho inferior a 0,2 μm não existe transformação de fase o que leva a uma menor tenacidade à fratura (Cottom *et al.*, 1996). A utilização de diferentes temperaturas e tempos de sinterização afeta a dimensão do grão do material e consequentemente a estabilidade e as propriedades mecânicas das estruturas fabricadas com este tipo de materiais (Subbarao, 1981). Temperaturas mais altas e maiores tempos de sinterização induzem a formação de grãos de maior tamanho (Ruiz *et al.*, 1996; Scott, 1975; Chevalier *et al.*, 2004).

1.3.2 Propriedades óticas

De uma forma geral, um aumento do conteúdo cristalino do material cerâmico conduz a valores mais elevados de resistência da estrutura e a um aumento da opacidade do material (Sorensen *et al.*, 1999; Lehmann *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011).

No entanto, as cerâmicas de elevada resistência apresentam resultados óticos bastante diferentes, sendo a translucidez da zircónia mais baixa do que a da alumina (Ban, 2008). Foram reportados valores de luz transmitida de 72% na

alumina e de 48% na zircónia, quando testadas estruturas de alta resistência Nobel Procera com espessura de 0,6 mm com uma lâmpada de foto polimerização e medida a passagem de luz com um medidor laser (Sadan *et al.*, 2005).

Para que os materiais sejam considerados translúcidos eles não podem absorver a radiação no espectro do visível (comprimento de luz entre 0,4-0,7 μm) e a difusão deve ser reduzida ao mínimo (Baldissara *et al.*, 2010). Contudo, há vários fatores que contribuem para o efeito de difusão nos materiais cerâmicos policristalinos, tais como: irregularidade na distribuição das várias fases, defeitos e bolhas nos limites de grão, anisotropia ótica dos grãos, tamanho do grão maior do que o comprimento de onda da luz, vários índices de refração entre as partículas e a sua natureza química (Heffernan *et al.*, 2002; Zhang, 2014).

Os cristais de zircónia da fase cúbica são translúcidos e bastante utilizados em joalheria como substituto de diamante, já que apresentam uma estrutura cúbica idêntica e um elevado índice de refração. O índice de refração da zircónia cúbica é de 2,15-2,18 e o do diamante é de 2,42-2,44. No entanto, como a zircónia Y-TZP é policristalina, a maioria da luz que atravessa este material é altamente dispersada e refletida de forma difusa nos limites de grão, o que resulta num aspeto opaco do material (Heffernan *et al.*, 2002). A quantidade de luz que é absorvida, refletida e transmitida depende da quantidade de cristais presentes no material, da sua natureza química e do tamanho das partículas em comparação como comprimento de onda (λ) da luz incidente (Clarke, 1983; Heffernan *et al.*, 2002). As partículas com tamanho idêntico ao do comprimento de onda da luz incidente têm o maior efeito de dispersão. Quer a composição química das partículas que influencia a absorção, quer o seu índice de refração na matriz afectam a dispersão (Zhang, 2014). Materiais com partículas de dimensão até 0,1 μm de diâmetro são menos opacos quando a luz visível as atravessa, apresentando menor refração e absorção apesar do maior efeito de dispersão causado pela maior quantidade de partículas. Partículas de maior diâmetro que 0,1 μm provocam maior reflexão superficial quando a luz incide, refração quando a luz atravessa e também absorção. No entanto, materiais com partículas de diâmetro maior apresentam menor quantidade por unidade de

volume e consequentemente apresentam menor dispersão e menor opacidade. Para um efeito máximo de dispersão e opacidade, como o que se verifica na zircónia, é recomendado a dispersão de partículas ligeiramente maiores do que o comprimento de onda da luz e com um índice de refração diferente do da matriz do material (Clarke, 1983; Heffernan *et al.*, 2002). As estruturas de alumina Nobel Procera (Nobel Biocare, Sweden) apresentam partículas com um diâmetro de aproximadamente 0,4 μm em 99,5% do volume (Andersson *et al.*, 1993; Heffernan *et al.*, 2002).

Por outro lado, a translucidez é também influenciada pela espessura do material (Vichi *et al.*, 2011; Antonson *et al.*, 2001; Heffernan *et al.*, 2002). Apesar de ser perceptível esta relação entre espessura e translucidez existe pouca informação sobre a translucidez dos vários tipos de zircónia quando preparados nas exigidas espessuras clínicas (Vichi *et al.*, 2011). Heffernan *et al.* em 2002 reportaram valores de opacidade (índice de contraste - CR) de 1,00 (opacidade total) em estruturas de In-Ceram Zircónia com espessura de 0,5 mm e estes dados foram também confirmados por Chen *et al.* em 2008. Contudo, a composição e estrutura do In-Ceram Zircónia, por ser uma cerâmica infiltrada com vidro, é muito diferente da zircónia Y-TZP. Ainda assim foram também reportados por Chen *et al.*, na mesma altura, valores de opacidade total (1,0) para estruturas com a mesma espessura (0,5 mm) de zircónia do sistema Cercon Base sobre o qual foi dito por Baldissara *et al.* em 2010 que era altamente opaco. Na sequência dos estudos apresentados por este último autor, foram apresentados valores diferentes de translucidez para várias zircónias utilizando o método de transmissão direta em vez do método de índice de contraste. Nesse estudo os autores consideraram que todos os materiais de zircónia testados podem ser considerados translúcidos até um certo nível, apesar de a quantidade de luz transmitida não ser muito elevada em comparação com o fluxo de controlo positivo. Este estudo suporta a ideia de a zircónia ser um material para estrutura “semi-translúcido” (Baldissara *et al.*, 2010), ainda que isto não seja sempre considerado como sendo um fator positivo quando na presença de núcleos dentários altamente pigmentados que podem interferir com o resultado estético das restaurações (Barath *et al.*, 2003; Volpato *et al.*, 2009). Baldissara afirma ainda que as variações de translucidez entre as várias zircónias estudadas

podem ser explicadas por pequenas diferenças na estrutura e na constituição química do material e pelas alterações provocadas na estrutura cristalina do material pelas várias técnicas de fresagem e sinterização utilizadas.

É possível que a translucidez da zircónia venha a ser melhorada no futuro, uma vez que muitos materiais cerâmicos tradicionais demonstram interessantes propriedades óticas quando os grãos do material sinterizado são reduzidos à escala nanométrica. É o caso da alumina, que se torna transparente quando o seu grão se torna suficientemente pequeno (Galmarini *et al.*, 2008). O grão da zircónia pode vir a ser modificado pelos fabricantes através do uso de dopantes e modificando as condições de sinterização, nomeadamente a pressão, temperatura e tempo de sinterização (Denry *et al.*, 2008). Recentemente foi descrita uma técnica para obter zircónia translúcida com colorações entre o âmbar e o rubi usando dois tipos de pós de zircónia nano-estruturados (ZrO_2 -3 mol% Y_2O_3 parcialmente estabilizada e ZrO_2 -8 mol% Y_2O_3 totalmente estabilizada). O material fabricado apresenta grão de 55 nm e na forma parcialmente estabilizada apresenta-se translúcido, com uma cor âmbar e com uma tenacidade de $8,1 \text{ MPam}^{1/2}$ (Casolco *et al.*, 2008; Baldissara *et al.*, 2010).

A zircónia com elevada translucidez está já comercializada para fabricação de restaurações totalmente em zircónia (Baldissara *et al.*, 2010; Alghazzawi *et al.*, 2012; Miyazaki *et al.*, 2013), habitualmente denominadas de contorno total ou “Full Contour”, que não necessitam de ser revestidas com cerâmica de recobrimento sendo apenas pigmentadas de forma intrínseca na fase de pré-sinterização ou de forma extrínseca após a sua sinterização.

Procurando alterar as propriedades de translucidez do material zircónia, para ele ser utilizado monoliticamente como restauração, têm sido testados ciclos de sinterização final do material com diferentes temperaturas (entre 1500°C e 1700°C) e também diferentes tempos de manutenção à temperatura final (entre 1h e 4h). Verifica-se que quanto mais elevada é a temperatura e mais prolongado é o ciclo, maior é a translucidez do material, uma vez que se observa uma diminuição no número de poros no material, aumento da sua densidade e aumento do tamanho do grão, provocando um arranjo cristalino mais uniforme que se traduz em menos efeito de dispersão, maior transmissão e melhor reflexão especular (Jiang *et al.*, 2011 ; Stawarczyk *et al.*, 2013 ; Ebeid *et al.*, 2014).

Assim, verifica-se uma relação direta entre o tamanho de grão e a temperatura de sinterização e o seu prolongamento temporal (Ebeid *et al.*, 2014).

1.4 REVESTIMENTO DE ESTRUTURAS DE ALTA RESISTÊNCIA

1.4.1 Técnicas laboratoriais de aplicação da cerâmica de revestimento

A busca de técnicas de preparação de cerâmicas de recobrimento que permitam facilitar os procedimentos e melhorar o comportamento ótico e mecânico das restaurações tem sido uma preocupação constante. Atualmente destacam-se três técnicas de recobrimento de infraestruturas cerâmicas, nomeadamente a técnica de injeção sobre pressão e posterior pintura de superfície, a técnica de estratificação e sinterização por camadas e uma técnica mista de estratificação sobre prévia injeção (Luo *et al.*, 2010; Miyazaki *et al.*, 2013). Esta última tem sido desenvolvida na procura de alcançar melhores resultados estéticos relativamente à técnica de injeção sobre pressão e posterior pintura. A estratificação é recomendada para melhorar a estética (Heffernan *et al.*, 2002).

1.4.2 Cerâmicas de base feldspática e ciclos de temperatura

O coeficiente de expansão térmico (CET) representa a alteração dimensional de um material por unidade de comprimento para uma alteração de temperatura de 1°C (Phillips, 1998). As cerâmicas de revestimento utilizadas em restaurações metalo-cerâmicas ou cerâmica-cerâmica devem ter valores de CET compatíveis com as ligas metálicas ou com as estruturas de cerâmica (Fairhurst *et al.*, 1980; Steiner *et al.*, 1997; Isgrò *et al.*, 2004; Ficher *et al.*, 2007 e Carracho, 2011). Quando cerâmicas com CET diferentes são sinterizadas em conjunto, desenvolvem elevada tensão intersuperficial que pode levar à fratura do material durante o arrefecimento ou que se pode manifestar e desenvolver ainda mais durante a prova e cimentação da restauração ou durante a mastigação.

Qualquer um destes tipos de tensões pode levar à fratura da restauração (Mumford, 1976; Kon *et al.*, 1994; Fischer *et al.*, 2008). O desajuste do valor de CET entre materiais cerâmicos é sugerido como um ponto essencial que potencialmente leva a elevadas taxas de insucesso (Hämmerle, 1994; Fischer *et al.*, 2009). Quase todos os sistemas de zircónia apresentam cerâmicas de recobrimento especificamente desenhadas para terem o CET adaptado à estrutura de zircónia. Durante o procedimento de sinterização conjunta a cerâmica de recobrimento encontra-se numa fase plástica e a tensão gerada é aliviada pela fluidez da massa. Na fase de arrefecimento o material passa por um intervalo de temperatura em que a cerâmica passa do estado viscoso ao estado sólido sendo essa temperatura definida como temperatura de transição vítrea (T_g). É abaixo desse intervalo de temperatura que se forma a tensão na cerâmica de recobrimento. Para além da importância que tem a diferença de CET entre os materiais, também o intervalo de temperatura entre a T_g e temperatura ambiente tem importância para a formação de tensão entre os materiais cerâmicos (Fischer *et al.*, 2009). De acordo com o princípio utilizado pelos sistemas de metalo-cerâmica é recomendável um desajuste mínimo e controlado tornando o CET da cerâmica de recobrimento inferior ao da estrutura, de modo a colocar a cerâmica de revestimento sobre compressão e aumentando a força de adesão à estrutura. Assim, os fabricantes têm apresentado cerâmicas de recobrimento com um desajuste ($\Delta\alpha$) na ordem de 1α ($\Delta L/L \times 10^{-6} K^{-1}$) em relação à zircónia da estrutura que geralmente tem um α no intervalo de $(10.5-11.0) \times 10^{-6} K^{-1}$.

Por outro lado, a tensão gerada por este desequilíbrio de temperatura deve ser controlado com um arrefecimento lento na última queima da cerâmica (denominada de queima de *glaze*) de modo a prevenir a acumulação de forças de tensão e minimizar o risco de fraturas (Zarone *et al.*, 2011). Parece evidente que não é na fase de aquecimento do ciclo de sinterização que ocorrem os problemas de compatibilidade nem de origem de tensões entre as camadas de material. Sendo recomendado que se utilizem regimes lentos de aquecimento e de arrefecimento, o ciclo de arrefecimento lento tem maior influência na resistência mecânica das restaurações do que o ciclo de aquecimento (Tan *et al.*, 2012). Este, tem sobretudo, influência na uniformização da temperatura dos dois materiais

cerâmicos (estrutura e recobrimento) enquanto que o ciclo de arrefecimento tem influência na tensão acumulada pelos materiais entre T_g e a temperatura ambiente. O facto das restaurações com cerâmicas de alta resistência serem sujeitas a múltiplas queimas durante o seu processo de fabrico parece não ter influência nas propriedades mecânicas da restauração (Tang *et al.*, 2012). As alterações mecânicas parecem ocorrer após a primeira queima de sinterização e mantêm-se sem alterações após os restantes ciclos de sinterização (Øilo *et al.*, 2008) sendo devidas à redução na superfície da zircónia de grãos em estado monoclínico (Whalen *et al.*, 1989; Guazzato *et al.*, 2005; Sundh *et al.*, 2005; Øilo *et al.*, 2008).

Poucas investigações deram importância à compatibilidade térmica entre as cerâmicas de alta resistência e as cerâmicas de recobrimento. No entanto, num estudo anterior (Aboushelib *et al.*, 2005) verificou-se que ocorreu separação espontânea entre os dois materiais quando utilizada uma cerâmica experimental com um CET de $\cong 12.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ enquanto que uma cerâmica comercial com $\cong 9.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ mostrou ter uma resistência de união suficiente (Fischer *et al.*, 2009). Noutro estudo (Kim *et al.*, 2006), uma cerâmica de recobrimento com $\approx 5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ induziu tensão na estrutura de zircónia (Fischer *et al.*, 2009). Segundo Fisher *et al.* (2007) a resistência à fratura de coroas de zircónia foi influenciada pelas propriedades térmicas da cerâmica de recobrimento, tendo-se verificado que existiu uma correlação no produto das diferenças entre o CTE da cerâmica de recobrimento e a zircónia ($\Delta\alpha$) e entre a diferença entre a T_g e a temperatura ambiente de 25°C. Segundo o mesmo autor, para se obterem valores de resistência à união entre a estrutura de cerâmica e a cerâmica de recobrimento esta última deverá apresentar $\Delta\alpha\Delta T \cong 1000 \times 10^{-6}$ (Fischer *et al.*, 2009). No entanto, não foi possível estabelecer uma clara correlação entre a resistência à união e o CET, sendo necessário investigar outros parâmetros que possam afectar esta união.

As cerâmicas de recobrimento de estruturas cerâmicas de alta resistência são essencialmente cerâmicas de base vítrea que apresentam diferente composição e microestrutura. Cerâmicas vítreas reforçadas com alumina, leucita e nano-fluoroapatite têm sido utilizadas no recobrimento de estruturas de alumina e de zircónia. Nessas cerâmicas de recobrimento, a sua composição

vítrea bem como o volume de massa que esta ocupa, o tamanho do seu grão, morfologia e distribuição da fase cristalina pode influenciar as suas propriedades mecânicas (Cattel *et al.*, 2006; Borba *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2011; Tang *et al.*, 2012). Não podem ainda ser ignorados os efeitos dos ciclos de sinterização e da suas temperaturas bem como o regime de arrefecimento que ocorre durante o processo de fabrico (Kon *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2010; Tang *et al.*, 2012).

O aumento do CET das cerâmicas de recobrimento é possível pela adição de óxido de potássio que provoca a formação de uma fase de alta-expansão chamada de leucita (Piché *et al.*, 1994; Mackert *et al.*, 1996; Tinschert *et al.*, 2000; Carracho, 2011).

Algumas cerâmicas utilizadas para revestimento de estruturas de alumina ou zircónia têm na sua composição leucita, que tradicionalmente está presente nas cerâmicas para recobrimento de metais (Christensen *et al.*, 2010) e que é responsável pelo ajuste do valor de CET do material. Este autor acredita que a inclusão da leucita na composição das cerâmicas de recobrimento de zircónia pode ser um factor importante para minimizar a prevalência de fraturas do material de recobrimento, uma vez que os resultados por si obtidos num estudo clínico (Christensen *et al.*, 2010) mostram que este tipo de material é o único que não apresenta este tipo de problema.

1.4.3 Procedimentos laboratoriais susceptíveis de provocar alterações óticas ou mecânicas

A realização de restaurações dentárias utilizando sistemas cerâmicos de alta resistência implica um conjunto alargado de procedimentos laboratoriais que são susceptíveis de alterar o comportamento ótico e mecânico da restauração.

As estruturas de alumina de alta resistência são produzidas em duas tonalidades, uma com cor aproximada a A₂ da escala VITA e outra com cor mais clara e denominada de translúcida, com o objectivo de ser utilizada em situações em que o substrato dentário é favorável para a obtenção da cor desejada. No entanto, não existe documentação científica que explique a diferença de coloração dos dois tipos, nem descrição do processo técnico pelo qual são

obtidas as duas diferentes tonalidades. Verifica-se ainda que quando as estruturas são produzidas a espessuras superiores a 0,6 mm, elas apresentam uma tonalidade mais intensa nas zonas de maior espessura. Este fenómeno pode implicar consequências ao nível da obtenção da cor desejada para a restauração, dada a falta de uniformidade de espessura da estrutura e a variabilidade de cor observada. Verifica-se ainda que quando as estruturas são sujeitas a ciclos de temperatura idênticos aos utilizados na sinterização de cerâmicas de recobrimento, a sua tonalidade vai-se aproximando da cor base da espessura standard. Esta dificuldade de uniformização da tonalidade base é geralmente ultrapassada pela utilização de pós de cerâmica que são denominados por “liner” e que se destinam a condicionar a cor base da estrutura e ao mesmo tempo atribuir-lhe propriedades de fluorescência que estas não possuem intrinsecamente. Este processo é também utilizado com as estruturas de zircónia que são geralmente produzidas na cor branca que não permite uma integração clínica satisfatória. Para compensar o efeito negativo da cor branca da zircónia começou por ser proposta a utilização de “liner” previamente à aplicação da cerâmica de revestimento (Devigus *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2007; Vichi *et al.*, 2011). No entanto, de forma a evitar os possíveis efeitos negativos do “liner” (Aboushelib *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011), os fabricantes passaram a disponibilizar zircónia com várias tonalidades. A incorporação de cor pode ser feita por imersão ou por pigmentação da zircónia pré-sinterizada em soluções salinas. Este processo feito geralmente de forma industrializada e utilizando apenas uma única cor ou tonalidade pode ser executado também manualmente nos sistemas manuais ou de CAD-CAM que fazem a fresagem da zircónia no próprio laboratório (*inlab*), proporcionando uma pigmentação de várias cores e tonalidades em áreas diferentes da restauração. Este processo tem vindo a ser desenvolvido pela Zirkozahn nomeadamente para a sua técnica com zircónia Prettau. A vantagem destes processos relativamente à técnica de “liner” é a capacidade de influenciar a cor do material em maior profundidade e não apenas à superfície. Contudo, a utilização destas técnicas mantém-se controversa. Diferentes estudos avaliaram a influência destas técnicas de pigmentação industrial na resistência à flexão destas zircónias, concluindo que não existem diferenças entre a zircónia branca e a zircónia colorida (Pittaychawan *et al.*,

2007; Shah *et al.*, 2008; Carracho, 2011). Ainda assim, Hjerppe *et al.* reportaram uma diminuição da resistência da zircônia colorida com líquidos de sais (Vichi *et al.*, 2011). Relativamente às vantagens que estas técnicas podem ter para a reprodução da cor das restaurações, Aboushelib *et al.* (2008) concluíram não haver qualquer vantagem na utilização das estruturas coloridas em relação às estruturas brancas (Vichi *et al.*, 2011). No entanto, Spyropoulou *et al.*, no mesmo ano (2008), concluíram que a utilização de estruturas de zircônia colorida deve ser recomendada quando se pretende igualar a cor de dentes adjacentes que se apresentam moderadamente opacos, evidenciando que existem implicações ao nível da translucidez ao permitir replicar o substrato que iguala a cor da cerâmica de recobrimento a ser utilizada. Segundo o autor, esta influência pode ficar a dever-se ao facto de poder ser utilizado maior intensidade de pigmentos nas cores escuras, ao facto do próprio pigmento ser mais intenso, resultando num efeito de maior reflexão de luz e traduzindo-se estatisticamente na diferença de translucidez e índice de contraste.

1.5 COR

O conceito de cor é difícil de compreender, não é fácil de definir e é muitas vezes relacionado mais com a arte do que com a ciência (Vichi *et al.*, 2011). Efetivamente, as teorias físicas de Newton, no século XVIII, geraram uma acesa polémica entre os círculos científico e artístico. Tal é patente em Goethe quando este afirmava, num dos seus poemas: “Aqueles que pretendem dividir a luz devem ser considerados loucos”. Durante um período de mais de 200 anos, físicos, fisiologistas ou filósofos dissertaram acerca desta polémica entre ciência e arte, ou seja, entre o pensamento de Newton e de Goethe a propósito desta temática e apenas resultados de investigação mais recente colocaram um ponto final nesta discussão (Baltzer *et al.*, 2004).

No início do século XX, o desejo era o de encontrar um método objetivo para a determinação da cor que pudesse, por um lado, ser baseado na capacidade do olho humano para fazer correspondência de cores e que, por outro lado,

representasse um modelo matemático que permitisse calcular a posição de uma cor relativamente a padrões bem definidos.

A identificação das cores primárias do espectro do visível tinha sido resultado dos trabalhos de Newton, que ao refratar a luz do sol através de um prisma tinha percebido que esta era composta por várias bandas de cor. Posteriormente, o fenómeno foi invertido por Young, que fazendo convergir luzes de cores diferente através de uma lente obteve luz branca. Esta experiência permitiu a descoberta de que a soma de duas ou mais luzes de cor diferente se transforma numa luz de cor mais clara e luminosa, e foi decisiva para que Young determinasse as três cores primárias do espectro de luz, o vermelho, o verde e o azul-ciano (Fondriest, 2003) (Fig. 1.1).

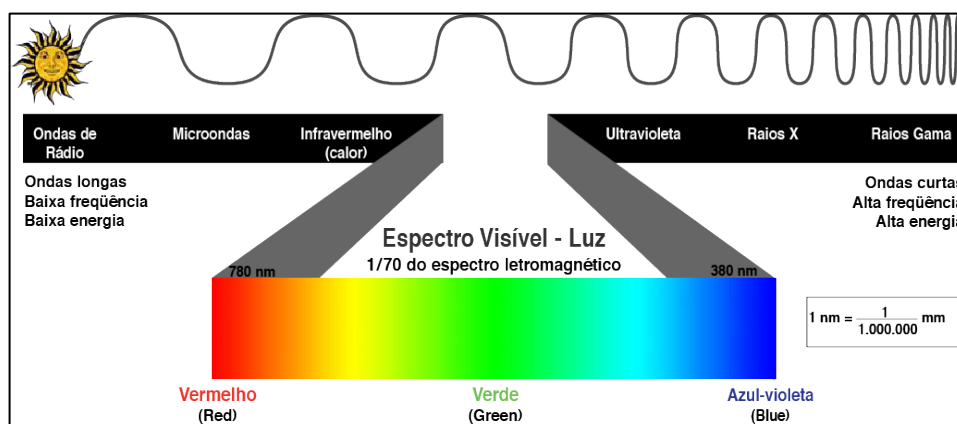


Figura 1. 1 – Representação do espectro do visível e das suas cores primárias
(<http://semeadorestrelas.blogspot.pt/2013/09/.html>)

As cores primárias (azul, vermelho e verde) do espectro de luz (sistema aditivo) quando misturadas podem dar origem à maior parte das outras cores e quando as três são misturadas em proporções iguais resultam na cor branca. A mistura de duas cores primárias dá origem a uma cor secundária. A cor primária em falta é denominada de cor complementar (Fondriest, 2003). Quando as cores são obtidas através de pigmentos (sistema subtrativo), as cores são também obtidas a partir de cores primárias (azul ciano, amarelo e magenta) que são precisamente as cores secundárias do sistema aditivo. Quando estas são misturadas em proporções iguais obtém-se a cor cinzento neutro. Os sistemas aditivo e subtrativo são complementares um do outro (Fig. 1.2). Estes conceitos são importantíssimos na seleção de cores e na utilização de pigmentos para a sua

reprodução. Na fabricação de restaurações utilizam-se cerâmicas coloridas, com diferentes graus de translucidez, que são aplicadas em camadas sucessivas e dão origem a interações de luz que se traduzem em efeitos de cor. Em algumas situações a cor das restaurações é alterada com recurso a pigmentos metálicos opacos que são aplicados na superfície da restauração. A aplicação desses pigmentos deve ser feita tendo por base a interação entre o sistema subtrativo e o sistema aditivo, de modo a poder obter-se as cores desejadas na restauração.

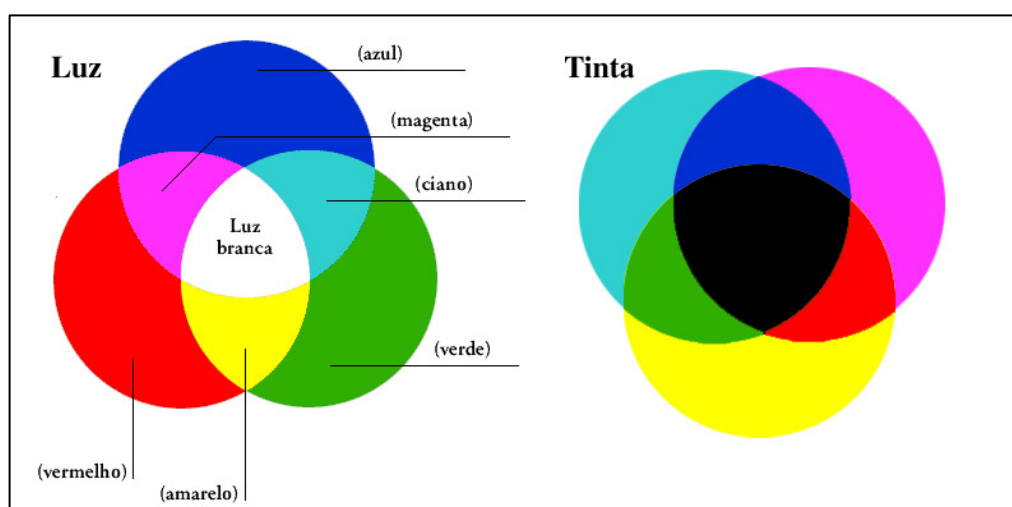


Figura 1. 2 – Sistemas de cor aditivo (luz) e subtrativo (tinta)
(<http://aoticadascoisas.blogspot.pt/2012/05/teoria-das-cores.html>)

1.5.1 Observação da cor

A avaliação da cor pode ser alcançada de duas formas: qualitativamente por comparação visual (subjetiva) ou quantitativamente por equipamentos electrónicos de medição (objetiva) (Jarad *et al.*, 2007).

1.5.1.1 Seleção de cor

A escolha de cor de um dente por comparação visual com um guia de uma escala de cores é o método mais utilizado clinicamente para fabricação de uma restauração indireta (Van der Burgt *et al.*, 1990; Paul *et al.*, 2002). No entanto, a escolha de cor por meio visual tem sido considerada altamente subjetiva porque muitas variáveis, como as condições de iluminação, experiência, idade e cansaço

do observador, daltonismo ou outras variáveis fisiológicas levam a inconsistências na identificação das cores (Paul *et al.*, 2002). A somar a isto, os termos técnicos para a comunicação da cor obtida por escolha visual são limitados (Segui *et al.*, 1989). Apesar destas dificuldades, o olho humano é muito eficiente a detetar pequenas diferenças de cor entre dois ou mais objetos (Paul *et al.*, 2002).

Para evitar inconsistências, equipamentos eletrónicos que integram iluminação standard podem ser utilizados para medir parâmetros de cor reprodutíveis, que assim dependem apenas do conjunto formado pela fonte de luz, o objeto e o detetor (Dozic *et al.*, 2007). Com base nos parâmetros do sistema CIELab (1971) (Commission International de l'Eclairage, L = Luminosidade, a = croma ao longo do eixo vermelho-verde, b = croma ao longo do eixo amarelo-azul), os dados obtidos a partir de colorímetros ou espectrofotómetros permitem uma comparação matemática (Seghi *et al.*, 1990). O espaço de cor CIELab, mencionado anteriormente, é uma área numérica onde se pode expressar e referenciar a cor de um objeto através de coordenadas cartesianas L^* a^* b^* . L^* é coordenada vertical e a^* e b^* são coordenadas horizontais. Este é o sistema mais utilizado para medição instrumental de cor (Stevenson *et al.*, 2010). Num outro sistema, denominado CIELCh descrevem-se as cores com o mesmo espaço de cor do sistema CIELab, mas através de coordenadas cilíndricas. O L^* expressa a luminosidade da amostra entre preto(0) e branco(100). O C^* é a medida da saturação de um croma e representa a distância do eixo neutro. Finalmente h^* é a medida da matiz e é representada por um ângulo entre 0° e 360° (VITA Easyshade Manual) (Fig. 1.3).

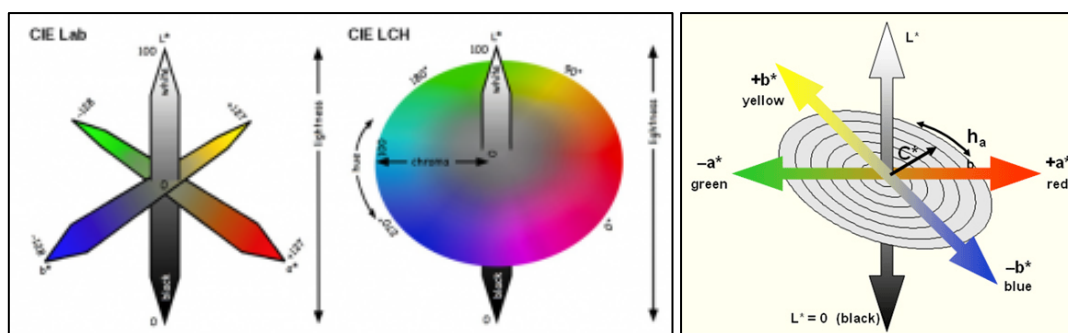


Figura 1. 3 – Representação dos sistemas CIELab* e CIELCh*
(http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.shtml)

A notação da cor no sistema CIELCh* oferece uma vantagem sobre o sistema CIELab* por ser mais fácil relacioná-lo com os sistemas utilizados inicialmente, nomeadamente o sistema de Munsell, que deu origem às tradicionais escalas de cor utilizadas pelos profissionais da área dentária. A comunicação entre estes profissionais faz-se tradicionalmente com referência ao matiz, croma e valor. A conversão dos valores de CIELab* para CIELCh* é meramente matemática, sendo traduzida pelas formulas: $C^*=(a^2+b^2)^{1/2}$ e $h^*=tang^{-1}(b/a)$. Os valores de L^* são iguais nos dois sistemas.

1.5.1.2 Escalas de cor

Técnicos de prótese dentária e médicos dentistas utilizam de forma sistemática a escala de cor Vitapan Classical (VITA- Zahnfabrik, Alemanha) para comunicar e alcançar a cor das restaurações. Esta escala é praticamente a mesma que foi apresentada pela marca em 1956 e que consiste em 16 guias de cor organizadas em quatro grupos (A-D) de diferente matiz (Vichi *et al.*, 2011). Com esta escala, a comunicação é feita com base nos parâmetros estabelecidos no sistema de cor de Munsell, no qual se utilizam três dimensões: valor para expressar a luminosidade, matiz para identificar a cor dominante e croma para expressar a saturação da matiz (Munsell, 1961). Contudo, esta comunicação é altamente subjetiva e depende da capacidade dos observadores para detetar diferenças de cor (Culpepper, 1970; Horn *et al.*, 1998; Geary, *et al.*, 1999). Para além disso, neste sistema a distribuição espacial é irregular no espaço de cor dentária e por isso é impossível correlacionar objetivamente duas cores e quantificar a diferença entre elas. A irregularidade da distribuição espacial é aliás um problema recorrente deste tipo de escalas de cor de outras marcas (ex: Ivoclar-Vivadent Chromascop).

Na tentativa de ultrapassar esta dificuldade, no final da década de 90 foi introduzida a escala de cor Vitapan 3D-Master Toothguide (VITA- Zahnfabrik, Germany) na qual existem 29 guias de cor agrupadas em seis grupos (0-5) de luminosidade diferente e que se mantém constante dentro de cada um dos grupos. Como as três dimensões da cor são consideradas iguais, esta escala permite, com base num critério científico, uma distribuição mais ordenada das

cores dentro do espaço de cor dentária (Paravina *et al.*, 2007; Ahn *et al.*, 2008; Vichi *et al.*, 2011) e uma medida numérica objetiva de acordo com os princípios do sistema recomendado pela Commission Internationale d'Eclairage (CIE) CIELab*, desde 1976 (Vichi *et al.*, 2011) (Fig. 1.4). Com a escala VITA 3D-Master é possível identificar a correção de cor fazendo referência a um parâmetro da cor de cada vez, em vez de dois em simultâneo, conforme acontece com as escalas de cor clássica, referida anteriormente.

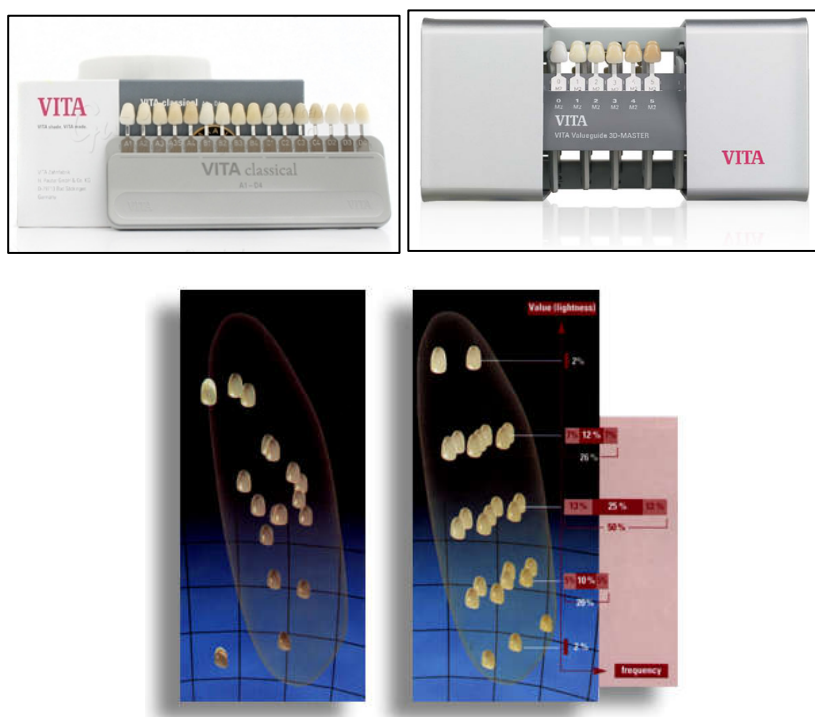


Figura 1. 4 - Distribuição de cores das duas escalas VITA.
(<https://www.vita-zahnfabrik.com>)

Apesar das vantagens desta nova escala a sua utilização tem sido limitada. Por um lado, porque ao implicar uma abordagem diferente da tradicionalmente utilizada requer uma aprendizagem da sequência de seleção de cor (Vichi *et al.*, 2011), por outro, porque apenas a marca VITA utiliza esta codificação na identificação de massas de cerâmicas.

1.5.1.3 Equipamentos de seleção de cor e sistemas de medição de cor

Para que a seleção de cor não seja influenciada por diversos fatores, tais como o tipo e qualidade da luz (Curd *et al.*, 2006; Jasinevicius *et al.*, 2009; Vichi *et al.*, 2011), daltonismo (Davidson *et al.*, 1990; Gokce *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011) ou experiência do observador (Klementti *et al.*, 2006; Della Bona *et al.*, 2009; Capa *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011) foram desenvolvidos alguns equipamentos. Existem duas categorias de instrumentos eletrônicos utilizados para a seleção de cor em geral: colorímetros e espectrofotômetros (Hunter, 1987; Vichi *et al.*, 2011). Por se tratarem de equipamentos muito rigorosos, ambos têm sido utilizados nos estudos de translucidez e propriedades de cor.

Os colorímetros são equipamentos mais simples e mais baratos utilizados para medir cor, com base em três eixos, através de um filtro que simula o olho humano e que filtra a luz em zonas de vermelho, verde e azul do espectro do visível (Chu *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011). Os colorímetros são menos utilizados em trabalhos de investigação sobre cor em comparação com os espectrofotômetros, embora possam ser encontrados trabalhos na literatura que os utilizam. Contudo, como os colorímetros não recolhem a totalidade da informação das curvas espectrais, os dados não são suficientes para mostrar os efeitos em $L^*a^*b^*$ ou $L^*C^*h^*$ de vários iluminantes (Technology, 2003).

Por contraste, os espectrofotômetros de bancada e mesmo alguns espectrofotômetros portáteis, como o Easyshade Compact (Vita Zahnfabrik, Germany) captam a totalidade do espectro do visível (tipicamente entre 400 nm e 700 nm). A partir deste espectro, utilizando funções de comparação de cor com iluminação e observador standard (D65 a 2°) as funções de tri-estímulo XYZ e subsequentemente os valores $L^*a^*b^*$ ou $L^*C^*h^*$ podem ser calculados. A medição com este tipo de equipamentos permite a conversão dos dados para vários sistemas de medição de cor (Vichi *et al.*, 2011). Estes equipamentos registam a quantidade de luz reflectida ou transmitida por um objeto, transformando-a em curvas espectrais, com fiabilidade que permite uma análise de dados com precisão (Hirata R., 2008).

Apesar dos espectrofotômetros serem equipamentos complexos, difíceis de utilizar e calibrar, e de serem utilizados tradicionalmente na área dentária

exclusivamente para efeitos de investigação, o aparecimento nas últimas décadas de nova tecnologia eletrónica, novos dispositivos de carga acoplada (CCD) e melhores fibras óticas levaram ao desenvolvimento de equipamentos portáteis para utilização clínica. Estes novos equipamentos podem ser compostos por colorímetros ou espectrofotómetros que, por vezes, são combinados com um sistema de captação de imagem digital, ou podem ser apenas softwares para serem utilizados com imagens captadas por câmaras digitais (Vichi *et al.*, 2011).

Um destes equipamentos, utilizado como referência em publicações científicas, é o já mencionado Easyshade Compact, lançado em 2009. Neste equipamento, para evitar luz especular reflectida, que praticamente não contém informação de cor e pode afetar negativamente a medição da cor, são utilizadas fibras óticas de grande diâmetro distribuídas na ponta de uma sonda que iluminam o dente e recolhem a luz que é refletida pela dentina depois de ser dispersa internamente através do esmalte. A distribuição das fibras óticas deste equipamento permite a entrada da luz num ponto e a medida da reflexão noutro ponto mais afastado, garantindo um ângulo apropriado de absorção e dispersão de luz no interior do dente. Pela sequência da distribuição das fibras óticas é ainda possível fazer medições com dois tipos de profundidade diferente, que são utilizadas para medir a cor do dente (“Tooth mode” - maior profundidade) ou para medir a cor das restaurações (“Restoration mode” - menor profundidade), uma vez que estas apresentam espessuras inferiores aos dentes naturais (Vichi *et al.*, 2011). O software deste equipamento está programado para mostrar as cores em valores absolutos CIELab* apenas para a medição dos dentes, enquanto que para a medição da cor das restaurações os valores são dados em CIELCh* bem como o valor de ΔE para os valores standard das escalas Vitapan Classical ou Vitapan 3D-Master introduzidos de base no equipamento (Technology, 2010). O ΔE é a distância entre dois pontos no espaço tridimensional de cor. Assim, utilizando uma cor padrão de referência é possível verificar a diferença entre a cor de um objeto e a cor padrão e referenciar essa distância ao limite de perceção do olho humano. Assim o ΔE traduz não só a diferença de cor entre a restauração e o dente natural mas também o potencial para a sua implicação clínica. Este método tem sido utilizado com grande frequência em investigação na medicina

dentária para quantificar a mudança de cor associada à manipulação de materiais dentários (Ghinea *et al.*, 2010).

Em comparação com as observações feitas pelo olho humano, ou por técnica convencional, os espectrofotômetros mostraram um aumento de 33% na precisão e de 93.3% na objectividade da escolha de cor (Paul *et al.*, 2002; Chu *et al.*, 2010). Ainda segundo Paul *et al.*, a repetibilidade da escolha de cor por método convencional é de 26,6% enquanto que a repetibilidade com a utilização de espectrofotómetro é de 83.3% (Paul *et al.*, 2002; Vichi *et al.*, 2011). A precisão e consistência da escolha de cor do equipamento Easyshade comparada com três clínicos experientes revelou ser melhor ou pelo menos comparável (Browning *et al.*, 2009; Vichi *et al.*, 2011).

Para os estudos de cor e translucidez em cerâmicas dentárias os espectrofotômetros podem ser utilizados através de três metodologias: transmitância direta parcial (Masoti *et al.*, 2007; Hirata, 2008), transmitância total com esfera de integração e reflectância com esfera de integração (Hirata, 2008; Brodbelt *et al.*, 1980). A proporção entre a luz transmitida no ar e através da amostra nos diferentes comprimentos de onda é chamada de transmitância (Hirata, 2008).

O método de transmitância direta parcial, que capta o feixe de luz que passa no centro da amostra e não considera a luz perdida em dispersão e pelas bordas da amostra apresenta, por esta característica, valores baixos. Este método foi utilizado para o estudo de cerâmicas feldspáticas (Brodbelt *et al.*, 1980; Baldissara *et al.*, 2010), mostrando que os valores de transmitância direta eram aproximadamente metade dos valores de transmitância total. Será por isso expectável que os valores de transmissão direta das cerâmicas de base cristalina sejam substancialmente mais baixos.

Quando se utiliza o método de transmitância total com esfera de integração são considerados ainda os feixes captados por dispersão para o cálculo da transmitância, o que regista normalmente valores mais elevados que em transmitância parcial (Paravina *et al.*, 2004; Hirata, 2008).

No método de reflectância com esfera integradora são captados os feixes refletidos pela amostra bem como os que são dispersos, de forma análoga ao que acontece no método descrito anteriormente. Este tipo de metodologias com

esfera de integração é utilizado para o cálculo de constantes de absorção e dispersão, desde que sejam utilizadas leituras duplicadas, uma sobre um fundo branco e outra sobre um fundo preto (Hirata, 2008).

Para o cálculo dessas constantes o sistema CIELab*, desenvolvido com base científica, tem sido utilizado como sistema de referência para fins de investigação desde que foi apresentado em 1978, como evolução das especificações de 1931 da CIE (CIE, 1978; Vichi *et al.*, 2011). Neste sistema é possível expressar cores através de números e também é possível calcular a diferença entre duas cores e expressá-la com correspondência à percepção visual. Neste sistema as cores são expressas em três coordenadas: o valor de L^* é a gradação de claridade de um objeto, o valor de a^* é a gradação de vermelho/verde e o valor b^* é a gradação de amarelo/azul. A diferença entre duas cores é expressa no valor de ΔE calculado a partir da fórmula (CIE, 1978; Vichi *et al.*, 2011): $\Delta E_{ab} = [(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]^{1/2}$.

Em 2004 a CIE actualizou esta fórmula de medição de diferenças de cor com o objetivo de melhorar a correlação entre as diferenças perceptíveis e as diferenças calculadas. Assim foram introduzidas funções de ponderação (S_L , S_C e S_H) e factores paramétricos (K_L , K_C e K_H) para que a formula pudesse reflectir nos componentes Valor, Croma e Matiz diferenças não só de cor mas também de textura, substrato, distanciamento ou outras (Vichi *et al.*, 2011). A nova fórmula, $\Delta E_{00} = \{ [\Delta L' / (K_L S_L)]^2 + [\Delta C' / (K_C S_C)]^2 + [\Delta H' / (K_H S_H)]^2 + R_T [\Delta C' / (K_C S_C)] \times [\Delta H' / (K_H S_H)] \}^{1/2}$, pode ser utilizada em conjunto com a anterior para calcular diferenças de cor, ainda que a formula ΔE_{00} deva ser utilizada quando se pretende calcular a diferença de cor nos parâmetros Valor, Croma e Matiz separadamente (Lee, 2005; Pérez Mdel *et al.*, 2007; Vichi *et al.*, 2011).

Apesar desta atualização e das recomendações para a sua implementação, pelo facto de esta nova fórmula ser mais ajustada na avaliação de diferenças de cor das cerâmicas dentárias e da sua relação com os limites de percepção do olho humano (Ghinea *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011), grande parte dos artigos publicados na literatura dentária continua a utilizar a fórmula mais antiga. Isto pode ficar a dever-se ao facto da nova fórmula ser mais complexa e também pela facilidade de comparação de resultados com estudos anteriores, ainda que a transformação dos valores obtidos por uma fórmula em valores correspondentes

na outra fórmula seja apenas uma questão de aritmética (Luo *et al.*, 2001; Vichi *et al.*, 2011).

1.5.2 Limites de percepção visual

Como os espectrofotômetros podem detectar pequenas diferenças de cor que o olho humano não é capaz, um dos temas importantes na investigação tem sido o de estabelecer um valor de referencia para a avaliação dos resultados dos estudos em termos de ΔE , ou seja, perceber se o olho humano tem capacidade para perceber essas diferenças e se elas têm uma implicação no resultado clínico (Vichi *et al.*, 2011; Kashayar *et al.*, 2014).

Em 1979, Kuehni *et al.* num estudo com observadores experientes que trabalhavam com cores em ambiente industrial, estabeleceu um valor de $\Delta E=1$ como limite de percepção do olho humano para detectar diferenças de cor no sistema CIELab*. O valor de $\Delta E=3,7$, que ao longo dos anos tem sido utilizado com maior frequência na literatura científica, é considerado como limite de aceitabilidade clínica e foi apresentado por Johnston *et al.* em 1989 (Vichi *et al.*, 2011). Daqui se depreende que existe uma diferença entre o limite de percepção e o limite de aceitabilidade. O limite de percepção é a diferença máxima que pode existir entre duas cores sem que consiga ser observada por mais de 50%. O limite de aceitabilidade estabelece a diferença máxima entre cores considerada clinicamente aceitável por pelo menos 50% dos observadores (Chu *et al.*, 2010).

Em 2004, Vichi *et al.* apresentaram três intervalos para distinguir diferenças de cor. Partindo do conhecimento de que a capacidade do olho humano para perceber diferenças de cor é uma combinação de características do olho e de treino de observação, definiram que valores de $\Delta E < 1$ não eram perceptíveis pelo olho humano, valores de ΔE entre 1 e 3,3 eram perceptíveis por pessoas com treino (ex: dentistas/técnicos de prótese dentária/assistentes dentárias) mas aceitáveis clinicamente e finalmente que valores de $\Delta E > 3,3$ eram perceptíveis por pessoas sem treino (ex: pacientes) e por essa razão eram clinicamente inaceitáveis (Vichi *et al.*, 2004; 2011).

O limiar de percepção de alteração cromática a partir de estudos *in vitro* é de $\Delta E^*_{ab} \approx 0,4 - 1$, por serem obtidos a partir de melhores condições de iluminação e medição (Seghi *et al.*, 1989; Douglas *et al.*, 1998; Xiao *et al.*, 2010). Contudo, para que exista um ajuste de cor entre um dente natural e uma restauração totalmente cerâmica são apontados valores médios de $\Delta E^*_{ab} = 1,6$ (Ishikawa-Nagai *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 2010).

Num recente artigo de revisão sobre esta temática (Kashayar *et al.*, 2014), onde foram analisados 37 artigos, mais de metade dos artigos utilizaram $\Delta E=1$ como valor de referencia para o limiar de perceptibilidade. O valor de $\Delta E=1,6$ foi utilizado em três artigos, tendo sido o segundo valor mais utilizado. O valor de aceitabilidade clínica utilizado por um terço dos estudos foi de $\Delta E=3,7$.

1.6 TRANSLUCIDEZ

A translucidez é uma das propriedades dos dentes humanos e é independente da cor, portanto, os instrumentos utilizados para medir cor (colorímetros e espectrofotômetros), apesar de por vezes utilizados, não são os mais adequados para a determinação da translucidez (Hirata, 2008).

A translucidez ocorre quando um feixe de luz, ao atravessar o material, é parcialmente disperso. Quanto maior a quantidade de luz que atravessa o objecto maior a transparência (Baldissara *et al.*, 2010). Os materiais translúcidos são aqueles em que a luz é transmitida de forma difusa, ou seja em que acontece o espalhamento da luz no interior do material, o que diminui a visibilidade através da amostra (Heffernan *et al.*, 2002). Tanto os tecidos dentários como os materiais cerâmicos apresentam esta característica de difusão da luz (Brodbelt *et al.*, 1980). Os materiais nos quais a luz visível não penetra durante a transmissão são considerados opacos (Heffernan *et al.*, 2002). O comportamento de um objeto na luz pode ser descrito pelas curvas de transmitância espectral, que mostram a fração de luz refletida ou transmitida pelo material para cada comprimento de onda.

A fração de luz transmitida (transmitância ou T) por um material pode ser descrita pela equação de Beer-Lambert (Yoshimura, 2000):

$$T=I/I_0=(1-r_1)^2 \exp(-\alpha X)$$

onde, I e I_0 são as intensidades do feixe transmitido e incidente, sendo respetivamente, r_1 a refletância, α o coeficiente de absorção aparente e X a espessura do material. Os efeitos das características microestruturais de cerâmicas policristalinas podem ser descritas no coeficiente de absorção aparente, α , por meio de $\alpha=(\alpha'+S_p+S_b)$, onde α' , S_p e S_b são respetivamente os coeficientes de absorção intrínseca, dispersão por partículas de segunda-fase (incluindo poros) e dispersão nos limites de grão (Budworth, 1972).

A comparação de cor entre uma restauração de cerâmica e um dente adjacente natural depende do grau de translucidez do material e da capacidade deste para camuflar a cor da estrutura que lhe serve de suporte, quer ela seja um pilar de dente natural integro ou parcialmente modificado ou um pilar standard ou personalizado sobre um implante. Se a cor da estrutura de suporte da restauração for observável, isso resultará na sua influência na diferença de cor entre a restauração e a cor padrão que se pretende alcançar (Xiao *et al.*, 2010).

1.6.1 Metodologias de medição da translucidez

As curvas espectrais fornecidas pelos espectrofotómetros ou colorímetros podem ser transferidas na forma de dados que podem depois ser interpretados de várias formas, tais como: análise da quantidade de luz que passou ou foi reflectida com o uso de três pontos aleatórios; análise da curva de transmissão ou reflexão no intervalo de comprimento de onda escolhido; transformação em dados tri-estímulos da CIE: X,Y e Z, que expressam as intensidades das três cores primárias através das coordenadas X (vermelho), Y (verde) e Z (azul), permitindo determinar a composição pela variação de quantidade de cada uma delas na composição do material e finalmente transformação dos dados para CIELab* onde é possível referenciar a cor do objeto (Hirata, 2008).

A transmissão de luz através de materiais cerâmicos translúcidos pode ser medida com três metodologias: transmitância direta ou em linha, que é a fracção da intensidade do feixe de luz transmitido sem alteração da direcção; transmitância difusa, que é a fracção da intensidade do feixe de luz que é disperso ao atravessar o material; e transmissão total, que utiliza uma esfera

integradora para a sua aferição e inclui toda a luz que passa pelo material de forma direta ou difusa (Brodgelt, 1980). A transmitância directa não considera a luz perdida por dispersão interna nem por dispersão pelos bordos da amostra, apresentando assim valores baixos (Masotti *et al.*, 2007; Hirata, 2008).

1.6.2 Fórmulas de cálculo da translucidez

Quando são obtidos os dados triestímulos (X, Y e Z) pode ser calculado o índice de contraste (CR), que pode ser representado pela fórmula: $CR=Y_b/Y_w$, onde Y_w é o valor de Y sobre fundo branco e Y_b é o valor de Y sobre fundo negro (Campbell *et al.*, 1986; Buchalla *et al.*, 2002).

Se forem obtidos os valores CIELab* é possível uma análise e comparação de cor nas suas coordenadas específicas ou integradas. O conjunto de coordenadas em análise e a sua modificação podem ser expressos pela formula: $\Delta E^*=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$, onde ΔL é a alteração da coordenada luminosidade, Δa e Δb a modificação das coordenadas a e b respetivamente (Ikeda *et al.*, 2005; Paravina *et al.*, 2004).

Com os dados CIELab* é também possível calcular o parâmetro de translucidez (TP), que é obtido pela diferença de reflectância de amostras sobre um fundo negro e sobre um fundo branco, sendo expresso pela fórmula: $TP=[(LW^*-LB^*)^2+(aW^*-aB^*)^2+(bW^*-bB^*)^2]^{1/2}$, onde W representa os dados CIELab* sobre o fundo branco e B o mesmo sobre o fundo negro (Hasegawa *et al.*, 2000; Ikeda *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2005; Paravina *et al.*, 2004).

2 INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE RECOBRIMENTO NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

2.1 INTRODUÇÃO

As restaurações totalmente em cerâmica podem ser fabricadas de modo a reproduzir a estrutura dos dentes naturais em termos de cor, textura da superfície e translucidez (Rosenstiel *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2007). As restaurações de cerâmica são tradicionalmente feitas pela adição sucessiva de várias camadas de cerâmica com opacidade, cor e espessura diferentes de modo a garantir um aspecto natural (Dozic *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2007), sendo a técnica utilizada para a aplicação dessas camadas determinante no resultado estético alcançado (Conrad *et al.*, 2007). A combinação entre a resistência das cerâmicas de infraestruturas com a estética das cerâmicas de revestimento permite ao técnico de prótese dentária fabricar de forma individualizada, com diferentes técnicas, restaurações com elevados padrões estéticos (Deng *et al.*, 2003; Shain *et al.*, 2010). A mais valia estética de uma restauração totalmente em cerâmica tem por base a capacidade de harmonização que esta apresenta com a restante dentição, sendo que entre os fatores essenciais para alcançar essa harmonia se encontram a translucidez e a cor (Kingery *et al.*, 1976; Lee *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2010). No entanto, criar uma restauração com um aspeto natural, que se integre harmoniosamente com os dentes adjacentes nem sempre é conseguido. O olho humano consegue perceber pequenas diferenças de cor e de translucidez entre a restauração e os dentes naturais que com ela se relacionam (O'Brien, 1985; Ilie *et al.*, 2008; Baldissara *et al.*, 2010).

2.1.1 Cerâmica de infraestrutura

A maior parte das restaurações de cerâmica são compostas por uma cerâmica de recobrimento translúcida e por uma infraestrutura opaca cuja cor influencia significativamente a cor da restauração (Li *et al.*, 2009; Ho-Nam *et al.*, 2010; Baldissara *et al.*, 2010; Miyazaki *et al.*, 2013).

A translucidez ou opacidade da cerâmica de infraestrutura é apontada como um dos principais fatores que influenciam a estética, sendo por isso um fator crítico na seleção de materiais de restauração (Miller, 1987; Brodbelt *et al.*, 1980; Xiao *et al.*, 2010). De facto, estudos anteriores têm revelado não só diferenças de translucidez das cerâmicas de infraestrutura entre elas, como entre estas e os tecidos dentários, o que afeta a sua capacidade para mimetização das características óticas dos dentes naturais (Heffernan *et al.*, 2002; Ho-Nam *et al.*, 2010; Baldissara *et al.*, 2010). Tanto as cerâmicas de zircónia como as de alumina, ambas com elevado teor cristalino, apresentam um efeito de dispersão da luz muito elevado, tendo por isso um comportamento relativamente opaco no espectro do visível (Baldissara *et al.*, 2010). Uma elevada cristalinidade permite obter maior resistência mecânica, mas traduz-se geralmente em maior opacidade das estruturas (Vichi *et al.*, 2011).

Na procura de melhorar o comportamento estético das restaurações com estruturas de zircónia tem sido sugerida a alteração de alguns procedimentos técnicos, tais como: infiltração (de infraestruturas maquinadas, na fase de pré-sinterização final, com soluções de cloreto de sais raros para lhes dar cor) (Shah *et al.*, 2008); blocos pré-sinterizados de material colorido (colorido na fase de pó microcristalino) (Shah *et al.*, 2008); diminuição da espessura das infraestruturas (Baldissara *et al.*, 2010); alteração da composição do material de zircónia (Chen *et al.*, 2008; Chang *et al.*, 2009; Baldissara *et al.*, 2010); utilização de cerâmicas de “liner” (Shah *et al.*, 2008) e diferentes técnicas de recobrimento (Sailer *et al.*, 2007; Luo *et al.*, 2010; Lim *et al.*, 2010).

2.1.2 Técnicas de recobrimento

De forma análoga, as cerâmicas de recobrimento apresentam também variação na sua translucidez, sendo apontadas diferenças entre os vários sistemas de cerâmica de recobrimento, com influência no seu resultado estético (Heffernan *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2007; Ho-Nam *et al.*, 2010). Em função do tipo de cerâmica e da sua espessura, a cerâmica de recobrimento pode reduzir a translucidez da restauração (Ho-Jung *et al.*, 2010; Vichi *et al.*, 2011). Variações da cor ou da espessura da cerâmica de recobrimento entre 0,7 e 1,1 mm podem alterar a cor das restaurações em função da estrutura utilizada (Stevenson *et al.*, 2010).

A aplicação da cerâmica de recobrimento sobre infraestruturas de zircônia ou de alumina pode ser realizada por diferentes técnicas de recobrimento, que podem afetar a translucidez e a cor da restauração final (Sailer *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2010). A técnica convencional de estratificação pressupõe a aplicação sucessiva de diversos estratos ou camadas de cerâmica com características óticas diferentes, que após condensação e sinterização constituem a restauração final. Na técnica de injeção/pintura, começa por se realizar um padrão em cera que posteriormente é substituída pela cerâmica. Após inclusão do padrão de cera em revestimento, a cera é eliminada e a cerâmica é injetada por pressão num cilindro de material refratário. Desta forma, ao contrário do que sucede na técnica de estratificação, é obtida uma homogeneidade do material e das características óticas de toda a cerâmica de revestimento. Na técnica de injeção, o aspeto final da restauração é obtido por pintura da superfície da cerâmica com pigmentos extrínsecos. Por fim, a aplicação da cerâmica de revestimento pode ser realizada recorrendo a uma técnica mista. Numa primeira etapa, é aplicada uma primeira camada de cerâmica de dentina por injeção pela técnica descrita anteriormente, sobre a qual, é depois aplicada cerâmica de incisal pelo método de estratificação.

Todas estas técnicas são passíveis de promover restaurações estéticas. No entanto, a técnica de injeção/pintura tem ganho popularidade entre os técnicos de prótese dentária por simplificar o processo de fabrico e de obtenção da cor final. Nesta técnica, como já foi anteriormente explicado, a forma da restauração

é obtida por enceramento, com ou sem suporte de uma infraestrutura, e injeção de cerâmica com a cor base da restauração. Os restantes efeitos de cor da restauração são obtidos por aplicação de pigmentos extrínsecos na superfície da forma final. A aplicação dos pigmentos extrínsecos é um fator que influencia a translucidez e cor das restaurações (Wang *et al.*, 2011).

Apesar de se verificar uma tendência para a diversificação na utilização das várias técnicas de recobrimento, em função do tipo de reabilitação protética, existem poucos estudos publicados sobre o comportamento estético do efeito destas técnicas, em particular sobre infraestruturas de zircónia (Vichi *et al.*, 2011).

O único trabalho reportado, de Luo *et al.* (2010), no qual se compararam os parâmetros de cor e a transmitância total de estruturas de zircónia obtidas por CAD-CAM e revestidas por três técnicas de recobrimento, similares às utilizadas neste trabalho de investigação, utilizou cerâmicas de recobrimento vítreas à base de fluoroapatite e nano-fluoroapatite em vez de cerâmica de base feldspática. Discos de zircónia com 0,5 mm de espessura foram revestidos pelas três técnicas até uma espessura final de 1,2 mm. Foi utilizado um espectrofotómetro para a medição da transmitância total e as diferenças de cor (ΔE) foram calculadas a partir das medição dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) obtidos por um colorímetro. Os autores verificaram que os espécimes revestidos pela técnica de injeção foram os mais transparentes e os mais claros, enquanto que os espécimes revestidos pela técnica mista foram os menos translúcidos e mais escuros (Luo *et al.*, 2010).

2.1.2 Influência dos fundos

Uma vez que os materiais cerâmicos utilizados em medicina dentária apresentam sempre algum grau de translucidez, o coto ou o fundo sobre o qual as restaurações são cimentadas pode assumir uma enorme relevância para a definição da cor final da restauração. A presença de restos de estrutura dentária pigmentada, amálgama ou outros materiais de restauração coloridos, bem como espigões de carbono ou falsos cotos podem interferir com o resultado estético desejado (Vichi *et al.*, 2011). O estudo da influência dos fundos na cor das

restaurações tem merecido alguma atenção, tendo já sido estudado com estruturas de alumina ou zircónia.

Koutayas *et al.* (2003) estudaram a influência dos fundos sobre estruturas de alta resistência, utilizando apenas a técnica convencional de estratificação. Pretenderam avaliar a influência de cinco materiais de restauração utilizados como falso coto ou pilar sobre implante na cor de estruturas de alumina revestidas com cerâmica feldspática. Utilizaram discos de alumina com 0,6 mm de espessura, revestidas com cerâmica feldspática de forma a obter uma espessura total de 2 mm. Como fundo foram utilizados uma liga de elevado teor de ouro, óxido de alumínio, zircónia e cerâmica vítrea. Todos os materiais de fundo modificaram a cor das restaurações relativamente à cor da estrutura inicial. Apesar de haver diferenças entre todos os fundos, só se verificou uma diferença estatisticamente significativa entre o fundo de zircónia e o fundo de cerâmica vítrea. No entanto, as diferenças de cor registada (ΔE), por serem inferiores a 2, não foram consideradas clinicamente relevantes.

Choi *et al.* (2013) utilizaram um colorímetro para avaliar a diferença nos parâmetros de cor (CIEL*a*b*) de quatro fundos diferentes (branco, preto, cinzento e cor de A3 VITA), quando recobertos por estruturas de zircónia branca de 0,4 mm de espessura e após estas serem revestidos com 0,4 mm de cerâmica feldspática de dentina, na cor A1 e na cor B4 VITA, simulando a técnica de estratificação. Observaram diferenças de cor entre todos os fundos, com a estrutura sobre os fundos e também depois desta revestida com cerâmica A1 ou B4. Os fundos preto, cinzento e cor de dente, quando recobertos apenas pela infraestrutura, registaram um aumento de L^* para mais branco, que os autores atribuíram ao facto da estrutura de zircónia ter na sua composição CaO, MgO e Y_2O_3 . Quando as infraestruturas foram cobertas com a cerâmica de recobrimento, foi observado, para os quatro fundos uma diminuição de L^* e um aumento de b^* para as duas cores, que os autores atribuíram ao facto das cores A1 e B4 apresentarem menor valor (mais cinzento) e serem mais amareladas do que a zircónia das infraestruturas. Neste estudo foi ainda observado que, para todos os fundos, a diferença de cor (ΔE^*) entre infraestutura simples ou revestida com qualquer uma das combinações de cerâmica de recobrimento foi sempre maior que 3,7 unidades, indicando que se obtém sempre uma cor

diferente da inicial quando se revestem as estruturas de zircónia, independentemente da cor do fundo. Estas diferenças foram contudo sempre maiores antes da aplicação da cerâmica de recobrimento e por isso os autores atribuíram este facto à cor das cerâmicas de recobrimento. Para o fundo branco a diferença de cor foi maior quando utilizada apenas a infraestrutura, pelo facto de esta ter uma cor mais próxima do branco. Verificou-se assim, que a estrutura de zircónia apresenta capacidade de camuflar o substrato e que a cor da restauração pode ser ainda modificada pela cerâmica de recobrimento.

2.2 OBJETIVOS

Este estudo pretendeu avaliar a influência das diferentes técnicas de aplicação de cerâmica de recobrimento (estratificação; injeção/estratificação e injeção/pintura) na transmissão direta de luz através de diferentes cerâmicas de infraestrutura [NobelProcera alumina (NPALU); NobelProcera Zirconia White (NPZRW) e NobelProcera Zirconia medium (NPZRC)], bem como a influência de diferentes fundos (liga CoCr-polido; liga CoCr-jateado; liga Ag-Au-Pt-polida; liga Ag-Au-Pt-jateada; compósito; dentina; titânio e zircónia) na cor das restaurações resultantes. Formularam-se as seguintes hipóteses experimentais:

1- Analisar a influência da cerâmica de elevada resistência na transmissão direta de luz através de infraestruturas.

H0: A cerâmica utilizada para o fabrico da infraestrutura não influencia a transmissão de luz .

H1: A cerâmica utilizada para o fabrico da infraestrutura influencia a transmissão de luz.

2- Analisar a influência da aplicação de cerâmica de recobrimento na transmissão direta de luz.

H0: A aplicação de cerâmica de recobrimento não influencia a transmissão de luz .

H1: A aplicação de cerâmica de recobrimento influencia a transmissão de luz.

3- Analisar a influência da técnica de recobrimento na transmissão direta de luz através de infraestruturas em cerâmica de elevada resistência.

H0: A técnica de recobrimento não influencia a transmissão de luz.

H1: A técnica de recobrimento influencia a transmissão de luz.

4- Analisar a influência do tipo de cerâmica de infraestrutura na cor de restaurações em cerâmica.

H0: A cerâmica de infraestrutura não influencia a cor das amostras.

H1: A cerâmica de infraestrutura influencia a cor das amostras.

5- Analisar a influência da aplicação de cerâmica de recobrimento na cor de restaurações cerâmicas.

H0: A aplicação de cerâmica de recobrimento não influencia a cor .

H1: A aplicação de cerâmica de recobrimento influencia a cor.

6- Analisar a influência da técnica de aplicação do material de recobrimento na cor de restaurações em cerâmica.

H0: A técnica de recobrimento não influencia a cor das amostras.

H1: A técnica de recobrimento influencia a cor das amostras.

7- Analisar a influência do tipo de fundo na cor de restaurações cerâmicas.

H0: O tipo de fundo não influencia a cor da restauração.

H1: O tipo de fundo influencia a cor da restauração.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo por base um estudo piloto, a dimensão da amostra (n=5) foi estimada com uma análise de potência de 80%, de forma a garantir significância estatística de $\alpha = 0,05$.

Assim, foi produzido um total de 45 espécimes de forma e dimensão padronizada. Os espécimes foram fabricados pela empresa Nobel Biocare (de acordo com o protocolo de fabrico do sistema NobelProcera para restaurações unitárias disponibilizado comercialmente, não tendo sido fornecido pelo fabricante nenhum numero de referencia ou lote) com a forma de disco, com 12 mm de diâmetro e 0,4 mm de espessura. Foram utilizados quinze discos de cada um dos materiais de infraestrutura testados: alumina (NPALU), zircónia branca (NPZRW) e zircónia colorida de cor média (NPZRC)(Fig. 2.1). Apesar de solicitado, a marca não revelou o protocolo de pigmentação do pó de zircónia nem o ciclo de sinterização dos materiais NPALU, NPZRW e NPZRC.

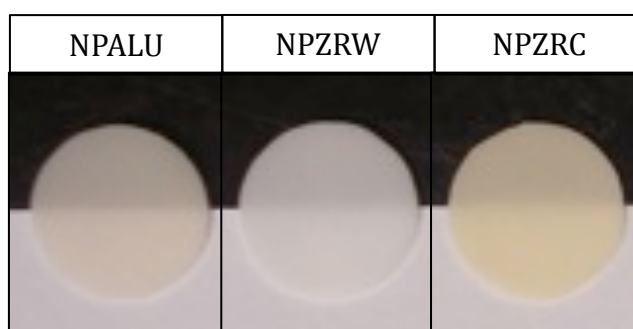


Figura 2. 1 - Materiais de infraestrutura utilizados no estudo.

Os espécimes de cada um dos materiais testados foram aleatoriamente divididos em três subgrupos de acordo com as técnicas de aplicação da cerâmica de revestimento utilizadas, constituindo 9 grupos experimentais (n=5) (Tabela 2.1).

Tabela 2. 1 - Grupos experimentais constituídos (n=5).

| Infra-estruturas Técnicas | Alumina NobelProcera | Zirconia Branca NobelProcera | Zirconia Colorida NobelProcera |
|--|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Estratificação | NPALU E | NPZRW E | NPZRC E |
| Injeção/Estratificação | NPALU M | NPZRW M | NPZRC M |
| Injeção/Pintura | NPALU P | NPZRW P | NPZRC P |

2.3.1 Preparação dos espécimes

2.3.1.1 Preparação inicial

Os espécimes produzidos industrialmente foram entregues pelo fabricante apresentando uma bainha lateral, para garantir a sua produção numa espessura de 0,4 mm, sem ondulações durante a fase de sinterização final do material de núcleo.

A bainha lateral foi removida com uma broca diamante com grão fino (Sintered Diamond 5022 HP, Edenta, Suíça) montada em peça de mão, a 25.000 rpm, e a periferia dos espécimes foi regularizada com um disco abrasivo para cerâmica (CeraPro 3,0mm, Edenta, Switzerland) a 15.000 rpm. Todo este procedimento foi realizado com refrigeração. Os espécimes foram por fim polidos com um disco de polimento de cerâmica (Meister Point SF-41, Noritake, Japan) de modo a garantir, um diâmetro de aproximadamente 12 mm, de forma a garantir um ajuste perfeito dos espécimes a um calibrador metálico (Porcelain Sampler Ref. 7015, Smile Line, Switzerland) utilizado para manipular as cerâmicas de recobrimento (Fig. 2.2).

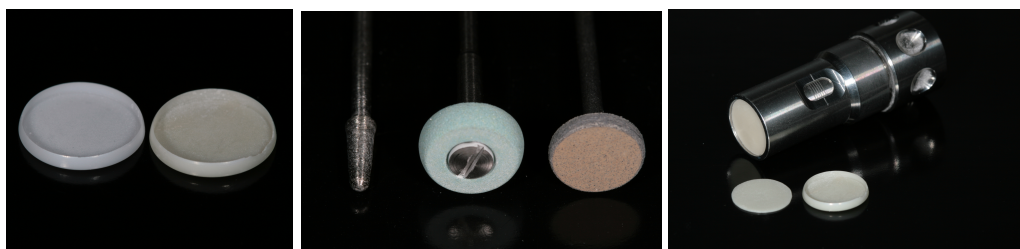


Figura 2. 2 - Modificação dos espécimes, disponibilizados pelo fabricante, para encaixe no calibrador.

Após a remoção da bainha lateral, os espécimes foram limpos com jacto de vapor (Steam Jet VK300, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) em ambas as superfícies para limpeza dos resíduos de corte sem afectar a integridade das suas superfícies planas.

Os espécimes distribuídos aleatoriamente pelos grupos foram posteriormente numerados dentro de cada grupo (Fig. 2.3) para garantir a

continuidade de leituras no mesmo espécime e permitir comparar os resultados também para cada espécime.

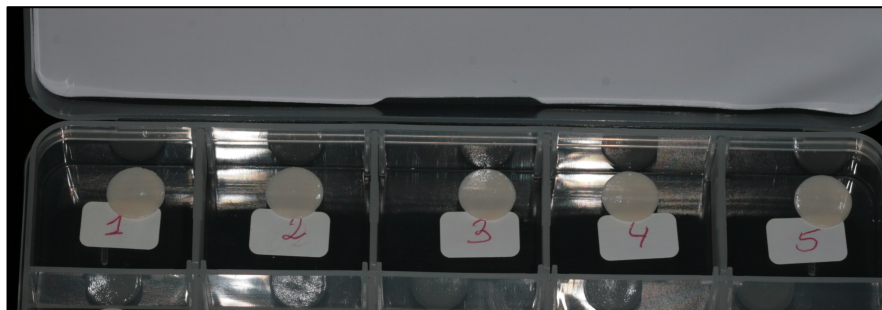


Figura 2. 3 – Codificação dos espécimes dentro de cada grupo.

2.3.1.2 Técnicas de recobrimento

Para cada um dos materiais de infraestrutura foram produzidos espécimes com três técnicas distintas de recobrimento: estratificação; injeção/estratificação e injeção/pintura. Para a técnica de estratificação foi utilizada a cerâmica de recobrimento Wieland Nobelrondo (Wieland, Alemanha). Na técnica de injeção/estratificação foi utilizada a cerâmica de injeção Nobelrondo Press Professional, seguida da cerâmica de recobrimento Wieland Nobelrondo utilizada na técnica de estratificação. Para a técnica de injeção/pintura foi utilizada a cerâmica Nobelrondo Press Standard. Desta forma, foram utilizadas cerâmicas de injeção do mesmo fabricante, com composição e sistema equivalente. O sistema de cerâmica Nobelrondo é composto por dois materiais equivalentes com coeficientes de expansão térmica ajustados para o recobrimento de infraestruturas de alumina ou de zircônia pelas três técnicas (Fig. 2.4).



Figura 2. 4 – Materiais Nobelrondo utilizados para as três técnicas de recobrimento, aplicados sobre estruturas de alumina e de zircônia.

Na técnica de estratificação, à espessura de 0,4 mm da estrutura de alumina ou zircônia, foi acrescentado 0,1 mm ($\pm 0,05$ mm) de cerâmica de “liner”, seguido da aplicação de cerâmica de dentina até completar 1,4 mm de espessura e finalmente 0,2 mm de cerâmica de incisal. Na técnica mista a estrutura foi revestida com 1 mm de cerâmica de dentina injetada e 0,2 mm de cerâmica de incisal estratificada. Finalmente na técnica de injeção/pintura, a estrutura foi revestida com 1,2 mm de cerâmica de dentina injetada que foi posteriormente caracterizada pela aplicação de duas camadas de pigmentos extrínsecos da cor D3 (Vita-Zahnfabrik, Germany). Em todas as técnicas de recobrimento os espécimes foram ainda sujeitos a uma queima final de “glaze”.

A espessura final do espécime correspondeu à espessura de uma restauração no terço médio de um dente anterior, zona recomendada pelo fabricante do espectrofotômetro Easy Shade Compact (Vita – Zahnfabrik, Germany) para a obtenção de cor de uma restauração (Fig. 2.5).

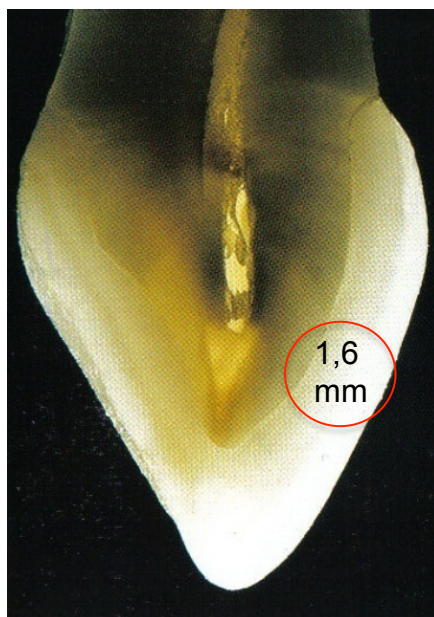


Figura 2. 5 – Zona do dente a ser reproduzida pelo espécime.
(adaptado de: Sombras, un mundo de color. August Bruguera, 2002)

A cor escolhida para referência na realização do estudo foi a cor D3 da escala VitaPan Classical (Vita-Zahnfabrik, Germany), escala utilizada como padrão mundial para selecção de cor dentária (Fig. 2.6). Todos os espécimes deveriam atingir a cor D3 após sujeitos às várias técnicas de recobrimento propostas para cada grupo de estudo. A escolha da cor D3 foi feita por conveniência.

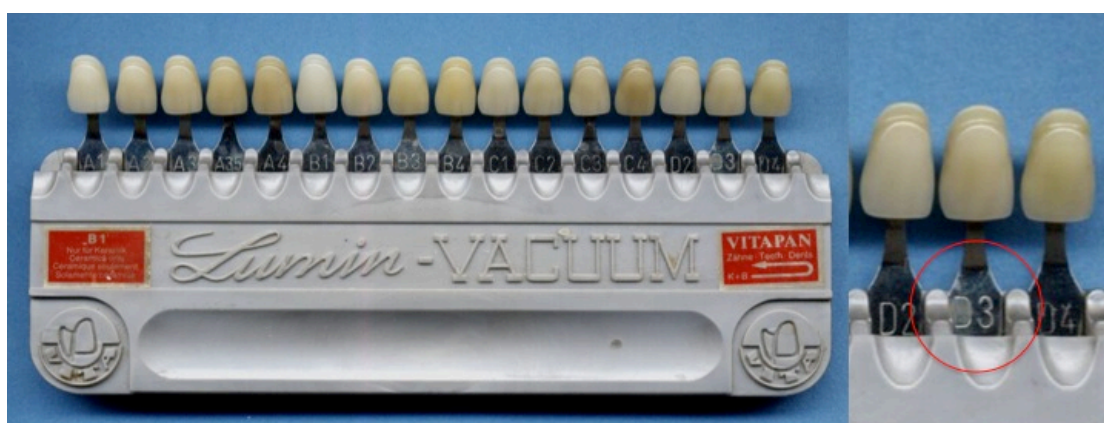


Figura 2. 6 – Escala VITA e cor utilizada como referencia.

2.3.1.2.1 Técnica de estratificação

Na manipulação das cerâmicas de recobrimento por técnica de estratificação convencional (aqui denominada pela letra “E”) nos grupos NPALU E, NPZRW E e NPZRC E seguiu-se o protocolo recomendado pelo fabricante da cerâmica de recobrimento utilizando um forno para cerâmica calibrado (Programat EP5000, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein).

2.3.1.2.1.1 Aplicação de “liner”

Após a limpeza do espécime com jacto de vapor (Ivoclar VK300 – Ivoclar, Liechtenstein) foi feita a aplicação da primeira camada de cerâmica, denominada de “liner”, de forma uniforme. O “liner” aplicado foi respetivamente, de NobelRondo Alumina (Lote 104) para os espécimes de alumina e de NobelRondo Zirconia (Lote 308) para os espécimes de zircónia, ambos do grupo “Pearl Chroma” correspondente ao grupo de cor de matiz D da escala VitaPan Classic (Fig. 2.7). A cerâmica foi misturada com o respetivo líquido para “liner” (Lote 3008) até atingir a consistência desejada.



Figura 2. 7 – Cerâmica e líquido de “liner”.

A aplicação da cerâmica sobre o espécime foi feita utilizando um instrumento específico com ponta esférica de cerâmica (Opaque 4000-DP2, Smile Line, Switzerland) de modo a assegurar a aplicação do material em camada

finas e uniforme. Os espécimes foram colocados sobre uma bandeja de lã de vidro (Fibrous pad firing support, Vita Zahnfabrik, Germany) respeitando a ordenação dentro do respectivo grupo de modo a assegurar que não existia troca de numeração entre os espécimes (Fig. 2.8).



Figura 2. 8 - Aplicação e sinterização do “liner”.

Pelo facto da sinterização ser feita sobre bandeja de lã de vidro o protocolo de queima foi aumentado 10°C na temperatura final, de acordo com as indicações do fabricante da bandeja, tendo-se utilizado um incremento de 45°C/min até à temperatura final de 930°C, com um 1 minuto de manutenção, com vácuo.

Os espécimes foram sujeitos a duas aplicações de “liner” de acordo com o estipulado pelo fabricante. A primeira camada denominada de “wash” foi menos densa e destinou-se a estabelecer a primeira ligação entre a cerâmica de recobrimento e a infraestrutura, enquanto a segunda, mais espessa, destinou-se a assegurar a uniformidade da camada de 0,1 mm ($\pm 0,05$ mm) de espessura. A espessura foi verificada com espessímetro digital (Digital Caliper – Mitutoyo, Japan).

2.3.1.2.1.2 Aplicação de camada de dentina

A cerâmica de dentina utilizada foi NobelRondo Alumina (Lote 208) para os espécimes de alumina e NobelRondo Zirconia (Lote 508) para os espécimes de zircônia, ambas de cor D3 da escala VITA.

O pó de cerâmica e o líquido (Nobelrondo soft liquid) foram misturados numa consistência para ser condensada e vibrada sobre a infraestrutura de núcleo. A infraestrutura revestida com “liner” foi colocada dentro do molde de aço (Porcelain Sampler, SmileLine, Switzerland) sendo a cerâmica de dentina aplicada sobre esta numa profundidade pré-calibrada de 1,6 mm. Esta espessura de cerâmica aplicada visou compensar a contracção associada ao processo de sinterização e garantir uma espessura de 1,4 mm após a aplicação da cerâmica de dentina sobre o espécime. O excesso de líquido foi removido, por absorção/capilaridade utilizando lenços de papel finos absorventes, após cada uma das três vibrações feitas com o instrumento de condensação sobre o molde de aço. O espécime foi removido do molde metálico e colocado ordenadamente sobre uma bandeja para forno de cerâmica (Smile Line, Switzerland) (Fig. 2.9). A sinterização da cerâmica foi feita segundo o protocolo do fabricante, tendo-se utilizado um incremento de 45°C/min até à temperatura final de 910°C, com um 1 minuto de manutenção, com vácuo.

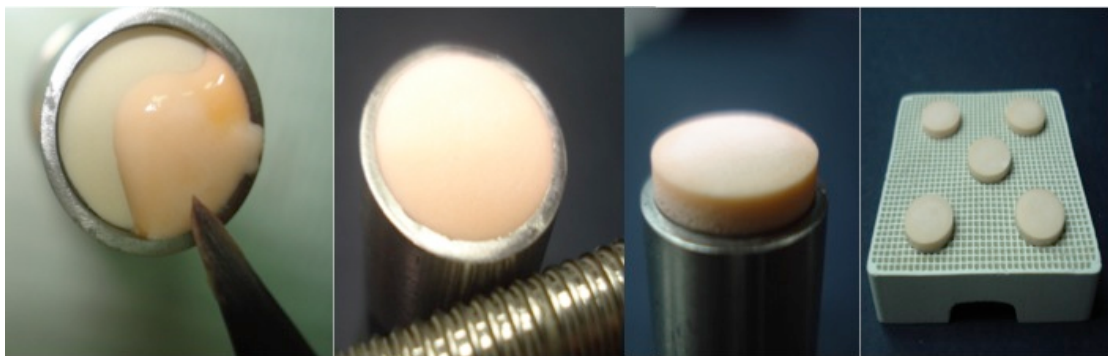


Figura 2. 9 – Processo de aplicação de cerâmica de dentina sobre infraestrutura, utilizando o calibrador.

Após a sinterização, a espessura foi medida com espessímetro digital (Digital Caliper- Mitotoyo, Japan) e os espécimes foram desgastados na superfície onde foi aplicada a cerâmica de dentina, utilizando o calibrador como suporte e

removendo o excesso de modo a obter paredes paralelas e uma espessura de 1,4 mm. O desgaste da cerâmica de dentina foi feito com lixa (100 grit) num equipamento porta lixas com água (Lunn Major – Struers, Germany) (Fig. 2.10). Foi feita medição de espessura em dois eixos perpendiculares atravessando o centro do espécime.



Figura 2. 10 – Processo de calibração de espessura do espécime.

Os espécimes foram seguidamente jateados com óxido de alumínio de 50 μm a 2 bar de pressão e limpos com jato de vapor, ficando prontos para leitura das propriedades óticas com os espectrofotômetros.

2.3.1.2.1.3 Aplicação de camada de incisal

Na segunda aplicação de cerâmica, os espécimes foram de novo colocados dentro do molde metálico e foi aplicada cerâmica de incisal numa espessura de 0,25mm para compensar a contração associada ao processo de sinterização e garantir pelo menos 0,2mm de cerâmica de incisal sobre cada espécime (Fig. 2.11).

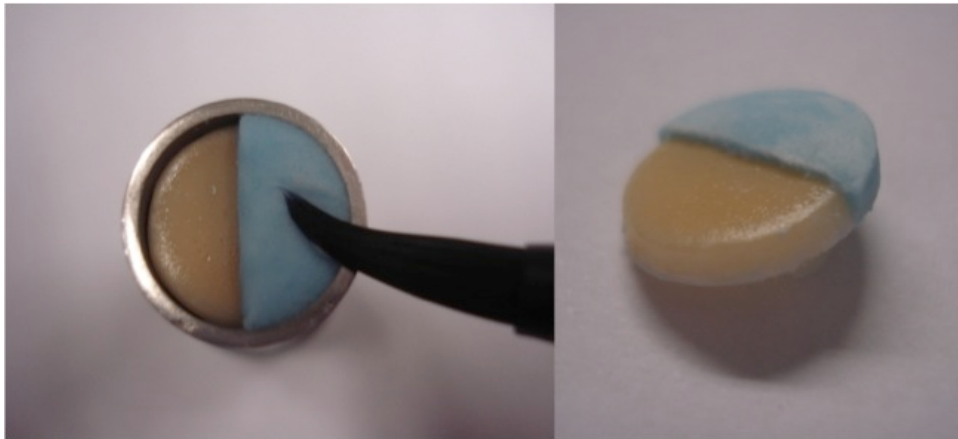


Figura 2. 11 – Aplicação de cerâmica de incisal sobre a dentina sinterizada.

A cerâmica de incisal utilizada foi NobelRondo Alumina (Lote 204) para os espécimes de alumina e NobelRondo Zirconia (Lote 409) para os espécimes de zircônia, ambas de cor E3, indicada pelo fabricante para a cor D3 da escala VITA. Foi repetido o processo descrito no ponto anterior (2.3.1.2.1.2) para condensação e remoção dos espécimes do interior do molde e para colocação no forno de cerâmica. Após a segunda sinterização, na qual se utilizou um incremento de 45^oC/min. até à temperatura final de 900^oC, com um 1 minuto de manutenção e com vácuo, os espécimes foram desgastados e foram medidos de forma análoga ao já descrito no ponto anterior. Os espécimes foram novamente jateados com óxido de alumínio de 50 µm a 2 bar de pressão e limpos com jacto de vapor, ficando prontos para a nova leitura das propriedades óticas com os espectrofotômetros.

2.3.1.2.1.4 Aplicação de camada de “glaze”

Finalmente, na superfície da cerâmica de recobrimento foi aplicada cerâmica de “glaze” (Lote 308) e os espécimes foram sinterizados segundo o protocolo do fabricante, tendo-se utilizado um incremento de 45^oC/min até à temperatura final de 880^oC, com um 1 minuto de manutenção, com vácuo.

Os espécimes foram limpos com jacto de vapor, ficando prontos para leitura final das propriedades óticas com os espectrofotômetros.

2.3.1.2.2 Técnica de injeção/estratificação

Na manipulação das cerâmicas de recobrimento por técnica de injeção de dentina e estratificação de incisal (também denominada por técnica mista e aqui designada pela letra “M”) nos grupos NPALU M, NPZRW M e NPZRC M seguiu-se o protocolo recomendado pelo fabricante da cerâmica de recobrimento.

2.3.1.2.2.1 Aplicação de cerâmica de dentina

Utilizando o calibrador (Porcelain Sampler Ref. 7015, Smile Line, Suíça) com uma profundidade de 1 mm foram produzidos discos de cera (Renfert, Germany) com diâmetro de 12 mm igual ao do espécime. Os discos de cera foram unidos aos discos de cerâmica de infraestrutura pela sua periferia, utilizando cera de união (Renfert, Germany). Na extremidade do conjunto foi colocado um conduto de cera de 3 mm (Renfert, Germany). No conduto foi feita uma codificação com pontos de cera numerando o espécime de um a cinco, de modo a identificá-lo durante o processo de desinclusão após a injeção da cerâmica de dentina (Fig. 2.12).

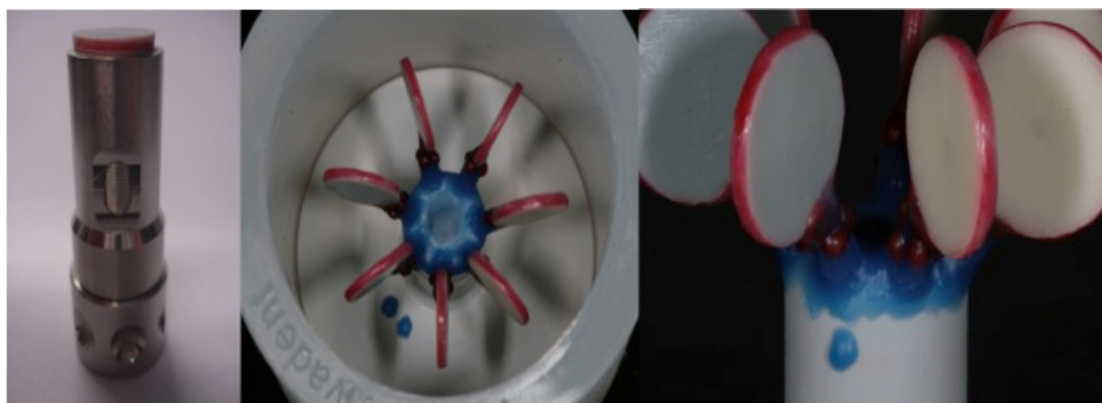


Figura 2. 12 – Codificação de espécimes e posicionamento em anel de injeção.

Cada espécime com conduto foi pesado com auxílio de balança digital (Shimadzu-Libron EB-280, Japan), sendo subtraído o peso da infraestrutura de cerâmica previamente apurado, de modo a determinar a quantidade de cerâmica a ser injetada em cada anel.

Para a inclusão das peças foi utilizado revestimento específico para técnica de injeção de cerâmica (Wieland PressX, Germany) da mesma marca do fabricante da cerâmica manipulado de acordo com as regras do fabricante e seguindo os ciclos de temperatura recomendados para injeção da cerâmica. Utilizou-se uma temperatura final de 1060°C, com 20 minutos de manutenção e uma injeção com 4 bar de pressão, com vácuo.

A cerâmica de dentina utilizada para injetar sobre as estruturas foi NobelRondo Alumina Professional, Pearl Chroma - Dentin D3 (Ref. 34052 - Lote 407) para os espécimes de alumina e NobelRondo Zirconia Professional, Pearl Chroma - Dentin D3 (Ref. 34093 - Lote 107) para os espécimes de zircônia.

Após o arrefecimento do anel, foi removido o revestimento com esferas de vidro 50 µm a 2 bar de pressão, até ser feita a exposição das peças com a união dos condutos. Foi feito um corte no conduto para alívio das tensões de arrefecimento e de seguida foi feita a remoção do restante material de revestimento. Os espécimes foram removidos dos condutos e foi feito o desgaste da zona de união do conduto com a peça.

Após estes procedimentos a espessura dos espécimes foi verificada com espessímetro digital e foi feito o processo já descrito na secção anterior para a técnica de estratificação, de modo a garantir uma espessura final de 1,4mm dos espécimes.

Os espécimes foram limpos inicialmente com jato de óxido de alumínio de 50 µm a 2 bar de pressão e seguidamente com jacto de vapor, ficando prontos para leitura final das propriedades óticas com os espectrofotómetros.

2.3.1.2.2.2 *Aplicação de cerâmica de incisal*

Nesta etapa foram realizados os mesmos procedimentos descritos na secção 2.3.1.2.1.3, referente à aplicação de cerâmica de incisal na técnica de estratificação.

2.3.1.2.2.3 Aplicação de cerâmica de “glaze”

Nesta etapa foram realizados os mesmos procedimentos descritos na secção 2.3.1.2.1.4, referente à aplicação de cerâmica de glaze na técnica de estratificação.

2.3.1.2.3 Técnica de injeção/pintura

Na manipulação das cerâmicas de recobrimento por técnica de injeção de cerâmica e pintura com pigmentos extrínsecos (aqui denominada pela letra “P”) nos grupos NPALU P, NPZRW P e NPZRC P seguiu-se o protocolo recomendado pelo fabricante da cerâmica de recobrimento.

2.3.1.2.3.1 Aplicação de cerâmica de dentina

A aplicação de cerâmica por injeção nesta técnica é análoga ao descrito na secção 2.3.1.2.2.1 referente à técnica de injeção/estratificação, sendo que os discos de cera obtidos tinham a espessura de 1,6 mm correspondente à espessura final do espécime.

A cerâmica utilizada para injetar sobre as estruturas foi NobelRondo Alumina, Pearl Chroma Standard (Ref. 34040, Lote 107) para os espécimes de alumina e NobelRondo Zirconia, Pearl Chroma Standard (Ref. 34081, Lote 107) para os espécimes de zircónia, ambas do matiz D da escala VitaPan Classic. Estas pastilhas de cerâmica apresentam uma cor correspondente ao croma e ao valor mais baixo do grupo de cor selecionado.

Todos os procedimentos de inclusão, eliminação de cera, injeção de cerâmica e desinclusão foram realizados de forma análoga e de acordo com o descrito no manual de instruções da marca e já descrito na secção supra citada, tal como o procedimento de calibração de espessura dos espécimes.

Os espécimes foram limpos inicialmente com jato de óxido de alumínio de 50 µm a 2 bar de pressão e seguidamente com jato de vapor, ficando pronto para leitura final das propriedades óticas.

2.3.1.2.3.2 Aplicação de pigmentos extrínsecos

A aplicação de pigmentos extrínsecos para obtenção do croma da cor D3 foi feita em duas etapas, correspondendo cada uma delas a um ciclo de sinterização feito à mesma temperatura, de acordo com as instruções do fabricante.

Utilizando o pigmento correspondente à matiz D da escala VITA, foi feita uma primeira aplicação de pigmento (lote 107) de forma a cobrir uniformemente a totalidade da superfície da cerâmica injetada (Fig. 2.13). Após a sinterização desta camada, foi de novo aplicado pigmento sobre a camada anterior na quantidade suficiente para atingir o croma da cor D3, verificado por observação e comparação com a escala de cor. Em ambas as sinterizações foi utilizado um incremento de 75°C/min até à temperatura final de 900°C, com um 1 minuto de manutenção, com vácuo.



Figura 2. 13 – Aplicação de pigmentos de cor D3.

2.3.1.2.3.3 Aplicação de cerâmica de “glaze”

Nesta etapa foram realizados os mesmos procedimentos descritos nas secções 2.3.1.2.1.4 e 2.3.1.2.2.3, referente à aplicação de cerâmica de “glaze” nas técnicas de estratificação e de injeção/estratificação.

2.3.2 Espectrofotometria de transmissão de UV/Visível

A espectrofotometria de transmissão foi efetuada por transmissão direta parcial. O espectrofotómetro UV/Vis utilizado foi o modelo Hellos α (Thermo Electron Corporation, USA) (Fig. 2.14).



Figura 2. 14 – Espectrofotómetro Hellos α (Thermo Electron Corporation, USA).

A transmissão direta foi registada em modo de transmissão no intervalo de 380 nm a 800 nm do espectro do visível, com 1 nm de intervalo (Fig. 2.15). A medição regista a percentagem de transmissão (%T) em função do comprimento de onda, tendo sido feita a média da percentagem de transmissão no intervalo estabelecido para a radiação visível (380-800 nm). Para cada espécime foi feita uma leitura no espectrofotómetro de transmissão. As medições dos espécimes foram realizadas na etapa de estrutura e após a aplicação de “glaze”.

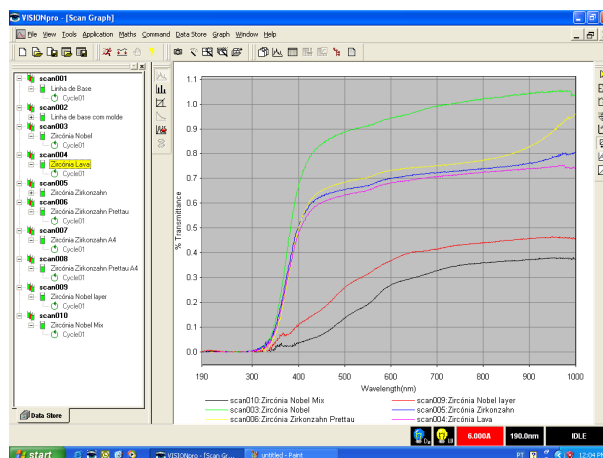


Figura 2. 15 – Gráfico da curva espectral obtida com software VISIONpro.

2.3.2.1 Acessório para posicionamento de espécimes

Pela dificuldade de estabilização do espécime no suporte do espectrofotômetro e ainda por o diâmetro dos espécimes não preencher na totalidade a área de passagem da radiação no suporte do espectrofotômetro foi desenvolvido e construído um suporte auxiliar de amostra desenhado especificamente, feito de material acrílico opaco e de cor preta, de modo a conter a amostra de 12 mm de diâmetro e delimitar e padronizar a área de passagem do feixe de luz a 7 mm de diâmetro (Fig. 2.16).

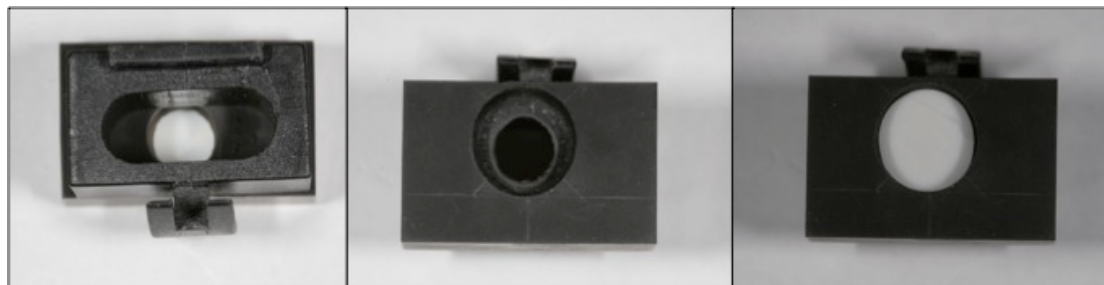


Figura 2. 16 – Suporte de espécimes montado no suporte do espectrofotômetro.

Este suporte garantiu um posicionamento vertical do espécime, perpendicular ao eixo de passagem do feixe de luz do espectrofotômetro, eliminando a possibilidade de posicionamentos oblíquos que teriam interferência na leitura do espécime (Fig. 2.17). Este acessório minimizou também o efeito de dispersão de luz nas margens da amostra, uma vez que esta está contida dentro de um material opaco.

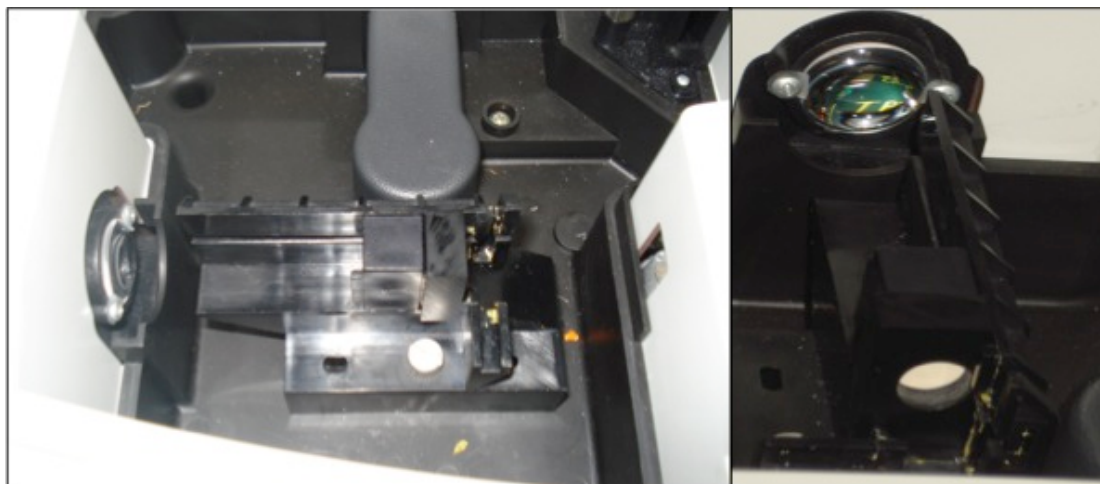


Figura 2. 17 – Acessório montado no equipamento para leitura do espécime, garantindo um posicionamento vertical e perpendicular deste relativamente à fonte de luz.

2.3.3 Espectrofotometria de reflexão

Os ensaios de espectrofotometria de reflexão foram efectuados por medição da quantidade de energia luminosa reflectida pelo objecto sobre um fundo. O espectrofotómetro de reflexão utilizado foi o Easy Shade Compact (Vita-Zahnfabrik, Germany)(Fig. 2.18).



Figura 2. 18 – Espectrofotómetro Easy Shade Compact (Vita-Zahnfabrik, Germany) (<https://www.vita-zahnfabrik.com>)

2.3.3.1 Fundos de reflexão (substratos de restaurações)

A leitura de cada espécime, em cada uma das etapas mencionadas no

ponto anterior, foi realizada sobre oito fundos de seis materiais diferentes: dente, obtido a partir do corte de uma lâmina de um dente pré-molar armazenado de acordo com as condições da ISO (ISO/TS 11405); compósito cor D3 (GrandiOS, Voco, Germany); liga Ag-Au-Pt (Yellow Special, Cendres Metaux, Switzerland); liga Co-Cr (Remanium 2000, Dentaaurum, Germany); titânio (Nobel Biocare, Sweden) e zircónia branca (Nobel Biocare, Sweden). As duas ligas metálicas foram utilizadas com duas superfícies diferentes, uma polida e outra jateada com óxido de alumínio de 110 µm a 4 bar de pressão (Fig. 2.19).



Figura 2. 19 – Fundos testados sob os espécimes, utilizando o equipamento Easy Shade Compact.

Para fazer a leitura do espécime sobre o fundo foi aplicada uma gota de glicerol de modo a promover o contacto entre as duas superfícies (Fig. 2.20).

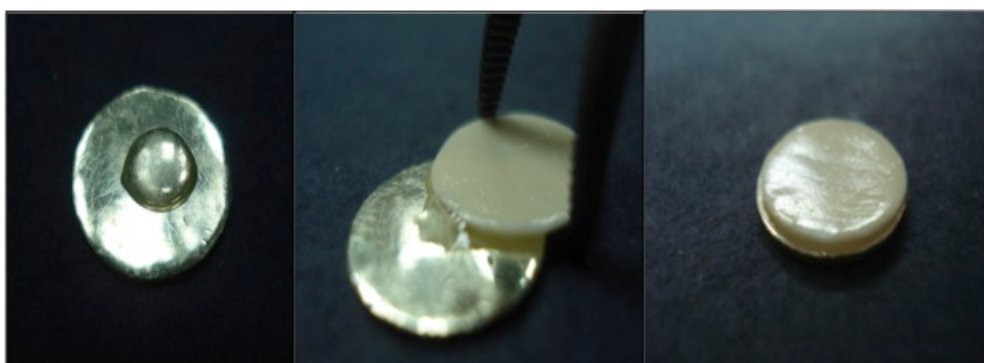


Figura 2. 20 – Colocação de glicerol entre o espécime e o fundo testado.

2.3.3.2 Acessório para posicionamento do espectrofotómetro

Para garantir que a área e o ângulo de leitura do espécime fossem sempre os mesmos foi utilizado o mesmo suporte confeccionado para as leituras de

espectroscopia de transmissão. O suporte permitiu num dos lados estabilizar o espécime sobre o fundo, uma vez que ambos encaixam perfeitamente no diâmetro de 12mm do suporte. O outro lado do suporte, com diâmetro de 7mm correspondente ao diâmetro da ponta do espectrofotómetro EasyShade Compact, permitiu que a ponta do equipamento entrasse em contacto com a superfície do espécime sempre na mesma posição central e com a mesma angulação (Fig. 2.21).

Para cada espécime foi feita uma leitura no espectrofotómetro de reflexão sobre cada um dos oito fundos, sendo este instrumento calibrado antes da leitura de cada espécime, ou seja, após cada oito leituras. Os resultados foram obtidos com base nas coordenadas de cor CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ΔE^* , L^* , C^* , h^* , utilizando o iluminante D65 e angulação de 2° .

As medições dos espécimes foram realizadas na etapa de estrutura e após a aplicação de glaze.

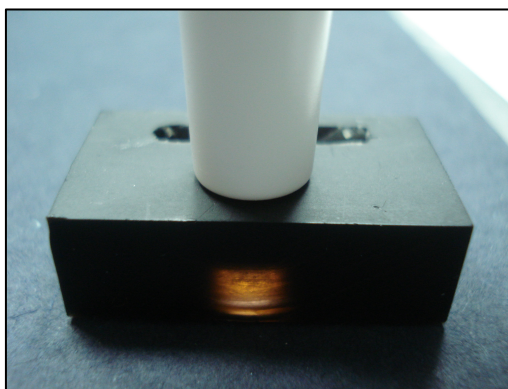


Figura 2. 21 - Adaptação da ponta do equipamento para leitura do espécime, através do suporte.

2.3.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram inseridos numa base de dados e analisados estatisticamente com uma aplicação informática comercial - SPSS para MAC, versão 21.0 (SPSS Ins, Chicago, IL, EUA).

Inicialmente foi efetuada a estatística descritiva dos valores de transmitância (%T) e de diferença de cor para a cor padrão D3 (ΔE^*) obtida a

partir de dados CIELCh*. Para cada grupo experimental foi calculada a média, o desvio padrão e os valores máximo e mínimo.

Os dados de transmitância e de ΔE^* obtidos com a infraestrutura e após o “glaze” foram submetidos a análise estatística inferencial. Não se tendo verificado a normalidade da amostra, com o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$), foram utilizados testes estatísticos não paramétricos.

Foram utilizados testes de medições repetidas segundo Wilcoxon, para verificar a existência de diferenças entre estas duas etapas de processamento dos espécimes.

A influência do tipo de material de infraestrutura e da técnica de recobrimento foi estudada recorrendo a testes não paramétricos segundo o método de Kruskal-Wallis, seguidos de comparações múltiplas de Mann-Whitney com correção de Bonferroni.

A influência do fundo sobre a cor obtida para cada combinação possível entre o material de estrutura e a técnica de estratificação foi analisada com testes não paramétricos para medições repetidas, ANOVA de duas vias às ordens segundo Friedman.

Para todos os testes estatísticos foi fixada uma significância estatística de 5% ($\alpha = 0,05$).

Foi feita uma análise de potência com base no estudo piloto para determinar a dimensão da amostra. O número de espécimes ($n=5$) calculado está também de acordo com estudos idênticos (Duran et al., 2012; Wang et al., 2013).

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Espectrofotometria de transmissão

Os valores médios e o desvio padrão de %T no intervalo do espectro do visível (380-800 nm) encontram-se descritos na tabela 2.2 e representados na figura 2.22, para as duas etapas investigadas.

Tabela 2. 2 - Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão de cada grupo nas etapas investigadas (n=5).

| % Transmissão | Grupo | Estrutura | "Glaze" |
|----------------|-------|--------------|--------------|
| Estratificação | NPALU | 1,40 (0,215) | 0,36 (0,015) |
| | NPZRW | 0,71 (0,007) | 0,21 (0,004) |
| | NPZRC | 0,60 (0,056) | 0,19 (0,007) |
| Mista | NPALU | 1,51 (0,257) | 0,48 (0,029) |
| | NPZRW | 0,74 (0,011) | 0,32 (0,012) |
| | NPZRC | 0,63 (0,024) | 0,30 (0,016) |
| Pintura | NPALU | 1,45 (0,229) | 0,37 (0,035) |
| | NPZRW | 0,73 (0,003) | 0,30 (0,019) |
| | NPZRC | 0,64 (0,020) | 0,27 (0,016) |

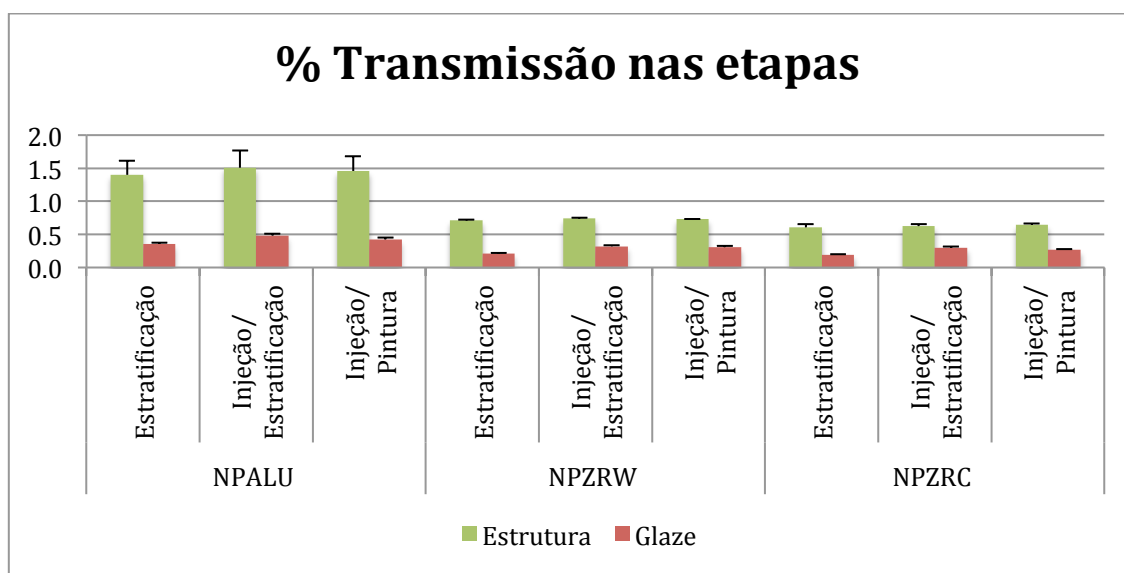


Figura 2. 22 - Distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo para as duas etapas.

O teste estatístico não paramétrico segundo Wilcoxon permitiu verificar uma diminuição estatisticamente significativa ($p < 0,001$) da transmitância, do momento inicial, apenas com as infraestruturas, para o momento final, após a aplicação do "glaze" (Figura 2.23).

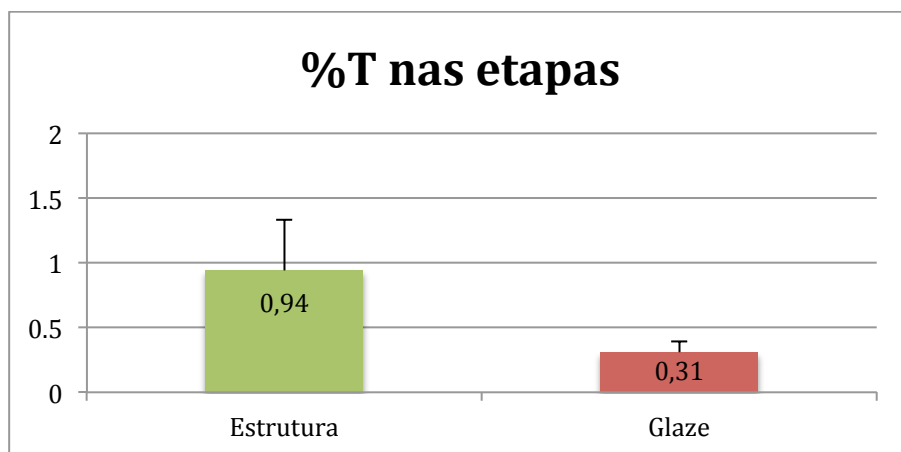


Figura 2. 23 - Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respectivo desvio padrão, na etapa de infra-estrutura e de glaze.

A análise dos dados obtidos no momento inicial, apenas com as infraestruturas, revelou que a capacidade de transmissão de luz era influenciada de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$) pelo material cerâmico de alta resistência. A alumina (NPALU) apresentou uma transmitância mais elevada que as zircônias ($p < 0,001$ para a NPZRC; $p = 0,005$ para NPZRW), e a transmitância da zircônia branca (NPZRW) foi mais elevada que a apresentada pela zircônia colorida (NPZRC) ($p = 0,005$) (Figura 2.24).

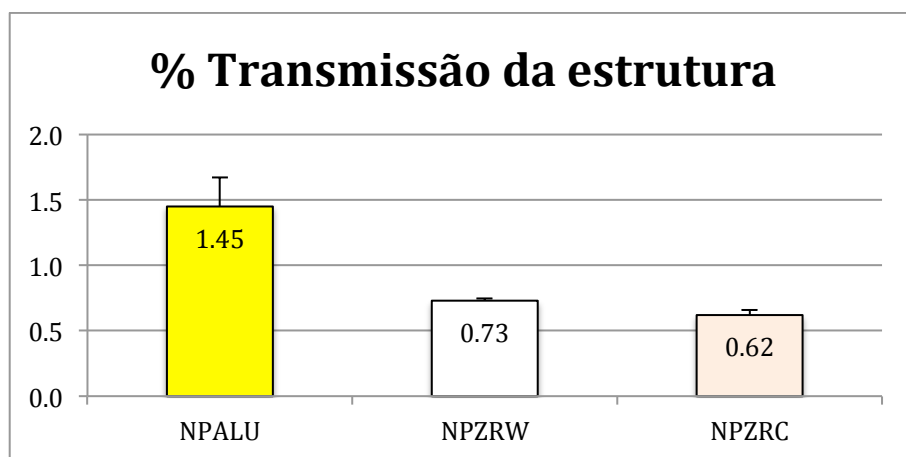


Figura 2. 24 - Distribuição dos valores de % média de transmitância das infraestruturas.

Também após a fase de aplicação do “glaze”, a capacidade de transmissão de luz foi influenciada de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$) pelo material cerâmico de alta resistência utilizado nas infraestruturas. No entanto, para este momento, apesar da transmitância da alumina se manter mais elevada

que a das zircônias ($p < 0,001$), os testes de comparações múltiplas efetuados não permitiram encontrar diferenças estatisticamente significativas entre as duas zircônias utilizadas ($p = 0,506$) (Figura 2.25).

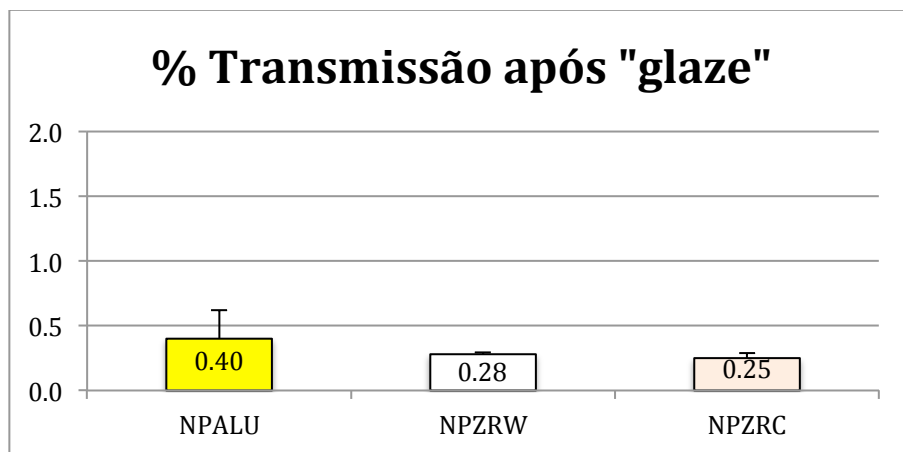


Figura 2. 25- Distribuição dos valores de % média de transmitância após "glaze".

A técnica de aplicação da cerâmica de recobrimento também se revelou com influência estatística ($p = 0,009$) sobre os valores de transmitância. De uma forma geral, a técnica mista permitiu obter valores de transmitância estatisticamente ($p = 0,007$) mais elevados que a técnica de estratificação. Não se observaram diferenças nas restantes comparações entre técnicas ($p > 0,05$) (Figura 2.26).

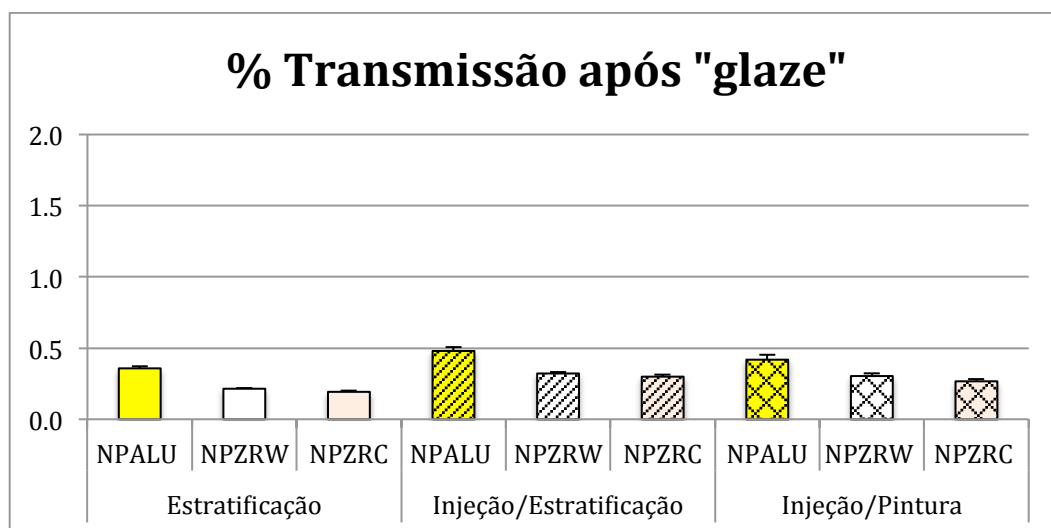


Figura 2. 26 - Distribuição dos valores de % média de transmitância dos materiais em cada técnica, após o glaze.

Na tentativa de investigar a existência de uma possível interação entre os dois fatores estudados, realizaram-se testes estatísticos para avaliar a influência da técnica de recobrimento para cada material de infraestrutura.

Para todos os materiais, NPALU ($p=0,009$), NPZRW ($p=0,006$) e NPZRC ($p=0,003$), observou-se uma influência estatisticamente significativa da técnica de recobrimento sobre os valores de transmitância. As comparações múltiplas entre técnicas de recobrimento permitiram obter resultados muito semelhantes aos obtidos quando não se teve em conta o tipo de material de infraestrutura. Para todos os materiais, a técnica mista apresentou valores de transmitância estatisticamente ($p<0,05$) mais elevados que a técnica de estratificação (Tabela 2.3). No entanto, para a NPALU também se verificaram diferenças entre a técnica de pintura e a técnica mista ($p=0,04$) (Tabela 2.3) (Figura 2.27). Estas diferenças são também observáveis nas curvas espectrais obtidas com os espécimes de cada grupo que apresentaram o valor médio de %T mais próximo da média do grupo (Figura 2.28 a 2.30).

Tabela 2. 3 – Valores de p obtido com comparações múltiplas segundo Mann-Whitney com correção de Bonferroni entre técnicas de recobrimento, em cada um dos três materiais de estrutura. (* significância estatística)

| | | Valor p obtido nas comparação multiplas entre técnicas para os diferentes materiais de infraestrutura | | |
|-----------|---------|---|--|---|
| Estrutura | Técnica | Estratificação VS Injeção/Pintura | Estratificação VS Injeção/Estratificação | Injeção/Pintura VS Injeção/Estratificação |
| | | | | |
| NPALU | | $p=1,000$ | $p=0,014^*$ | $p=0,040^*$ |
| NPZRW | | $p=0,085$ | $p=0,006^*$ | $p=1,000$ |
| NPZRC | | $p=0,169$ | $p=0,002^*$ | $p=0,413$ |

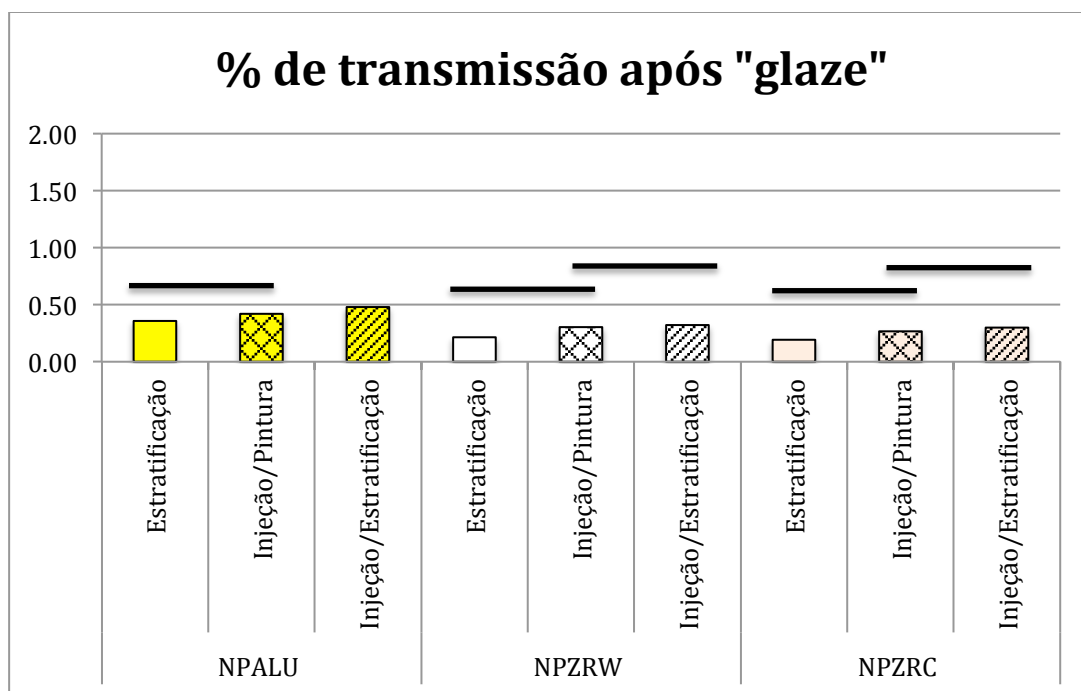


Figura 2. 27 - Distribuição dos valores da % média de transmitância após o glaze de cada técnica para cada um dos materiais de estrutura (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

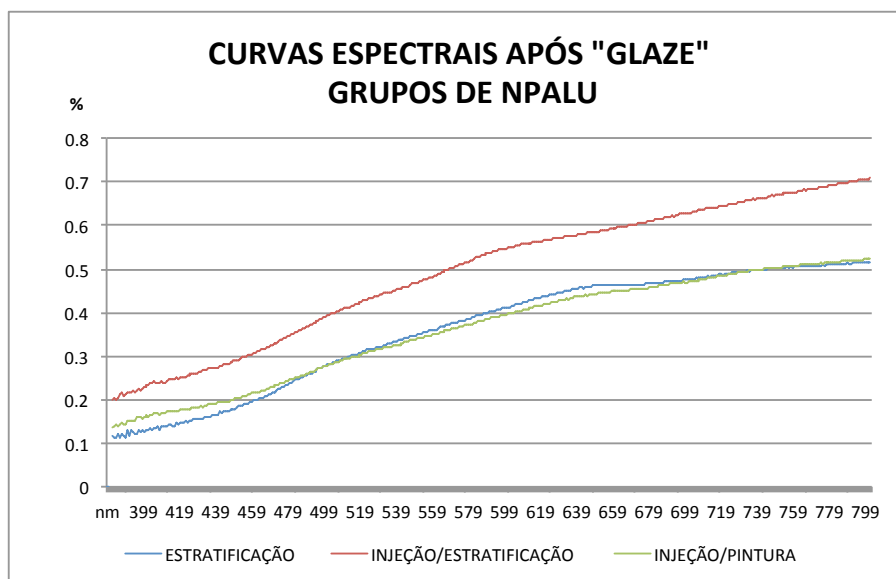


Figura 2. 28 - Curvas espectrais após "Glaze", de grupos de NPALU revestidos com as três técnicas de recobrimento, obtidas com o espécime com a média de %T mais aproximado à média do grupo.

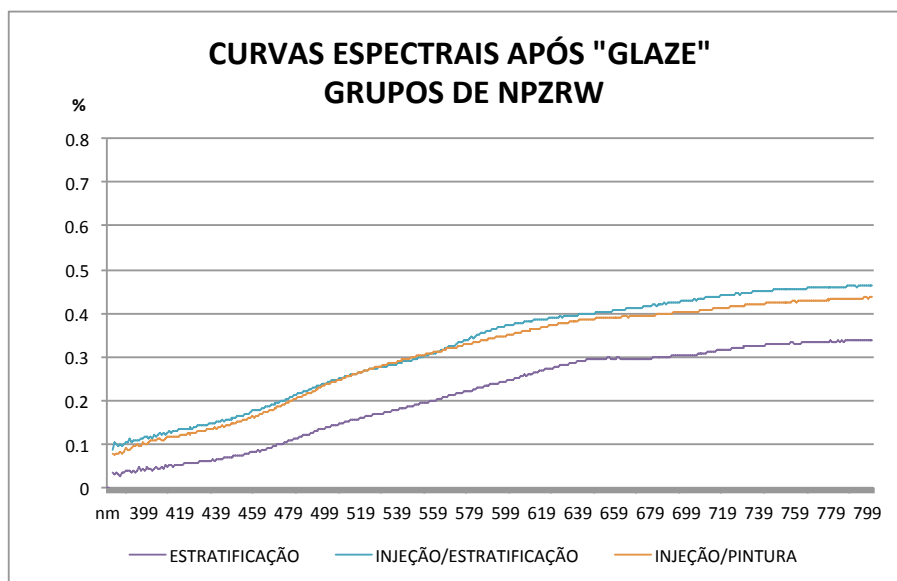


Figura 2. 29 - Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos de NPZRW revestidos com as três técnicas de recobrimento, obtidas com o espécime com a média de %T mais aproximado à média do grupo.

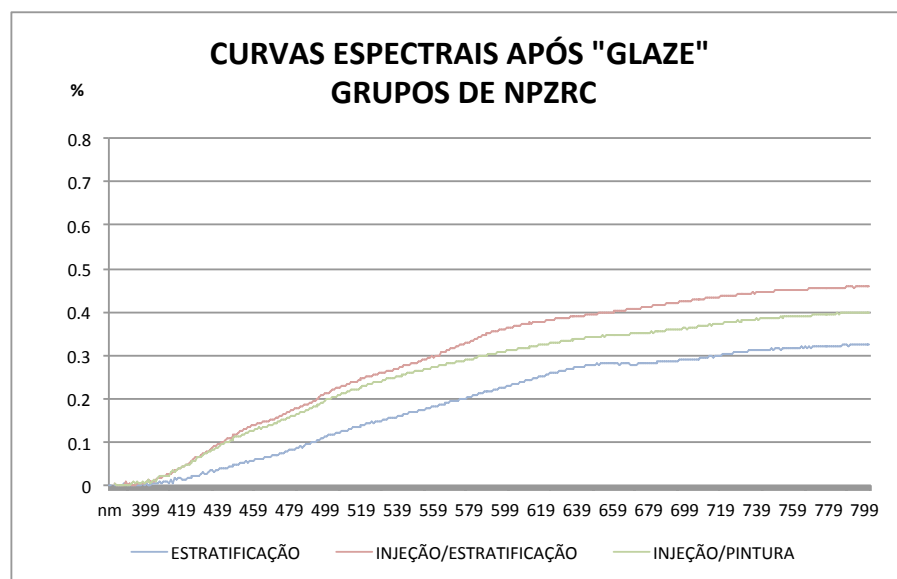


Figura 2. 30 - Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos de NPZRC revestidos com as três técnicas de recobrimento, obtidas com o espécime com a média de %T mais aproximado à média do grupo.

2.4.2 Espectrofotometria de reflexão

Os valores médios e o desvio padrão de ΔE^* de cada grupo sobre cada um dos oito fundos encontram-se descritos na tabela 2.4 para a etapa de estrutura e na tabela 2.5 para a etapa de “glaze”.

Tabela 2. 4 – Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de estrutura (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a **preto** - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$)

| Valores de ΔE* na etapa de estrutura | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|--------------|---------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <div>Fundo</div> | | Co-Cr Polido | Co-Cr Jateado | Ag-Au-Pt Polido | Ag-Au-Pt Jateado | Compósito | Dentina | Titânio | Zircónia |
| | | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) |
| Estratificação | NPALU | 6,8 (1,33) | 13,3 (0,87) | 3,4 (0,96) | 8,9 (1,24) | 6,1 (2,20) | 3,4 (0,59) | 9,4 (1,18) | 11,8 (0,94) |
| | NPZRW | 16,5 (0,64) | 19,1 (0,38) | 12,1 (0,85) | 16,6 (0,68) | 16,1 (0,49) | 10,5 (0,79) | 17,9 (0,25) | 19,7 (0,60) |
| | NPZRC | 8,7 (1,07) | 14,5 (0,64) | 5,0 (0,65) | 11,4 (0,86) | 10,3 (0,30) | 8,3 (0,66) | 11,8 (0,88) | 9,4 (0,91) |
| Mista | NPALU | 6,4 (1,07) | 12,8 (1,19) | 3,3 (0,41) | 8,6 (0,66) | 2,9 (0,16) | 7,5 (1,02) | 9,4 (1,06) | 10,5 (1,12) |
| | NPZRW | 17,1 (0,68) | 18,8 (0,70) | 12,4 (1,20) | 16,0 (0,68) | 15,9 (0,22) | 13,4 (1,37) | 17,6 (0,41) | 19,9 (0,35) |
| | NPZRC | 8,3 (0,93) | 13,3 (1,42) | 3,5 (0,66) | 9,3 (1,39) | 9,1 (0,47) | 4,9 (0,29) | 10,9 (1,31) | 7,5 (0,82) |
| Pintura | NPALU | 7,8 (1,08) | 13,6 (0,69) | 3,7 (0,53) | 9,0 (1,42) | 3,0 (0,83) | 8,8 (1,07) | 10,5 (1,02) | 12,5 (1,22) |
| | NPZRW | 16,3 (0,82) | 18,6 (0,64) | 11,1 (0,59) | 15,6 (0,66) | 14,3 (0,49) | 9,6 (0,66) | 17,4 (0,68) | 18,3 (0,54) |
| | NPZRC | 8,7 (0,19) | 14,2 (0,12) | 3,8 (0,18) | 10,4 (0,19) | 8,6 (0,97) | 3,8 (0,78) | 11,4 (0,16) | 8,3 (0,34) |

Na etapa de estrutura os valores médios de ΔE^* variaram entre 19,9 para o material zircónia branca no fundo Zircónia com a técnica mista e 3,3 para o material alumina no fundo Ag-Au-Pt polido na mesma técnica. Esta última combinação registou valores de $\Delta E^* \leq 3,7$ para as três técnicas. Dentro deste limite situaram-se ainda as combinações entre alumina sobre o fundo Compósito

na técnica de estratificação e zircónia colorida sobre o fundo Ag-Au-Pt polido na técnica de pintura. As técnicas de estratificação e pintura nunca registaram valores de $\Delta E^* \leq 3,7$ para as duas zircónias sobre qualquer dos fundos.

Tabela 2. 5 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a **preto** - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$).

| Valores de ΔE* na etapa de “glaze” | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|--------------|---------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Fundos | | Co-Cr Polido | Co-Cr Jateado | Ag-Au-Pt Polido | Ag-Au-Pt Jateado | Compósito | Dentina | Titânio | Zircónia |
| | | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) |
| Estratificação | NPALU | 1,5 (0,54) | 2,4 (0,37) | 0,5 (0,13) | 1,4 (0,43) | 2,8 (0,65) | 2,5 (0,76) | 1,9 (0,56) | 1,1 (0,36) |
| | NPZRW | 1,1 (0,46) | 0,5 (0,08) | 1,5 (0,29) | 0,9 (0,54) | 0,9 (0,40) | 0,8 (0,19) | 0,7 (0,25) | 1,5 (0,33) |
| | NPZRC | 1,2 (0,52) | 0,8 (0,22) | 1,6 (0,18) | 1,2 (0,09) | 1,1 (0,19) | 1,1 (0,16) | 1,0 (0,14) | 1,5 (0,11) |
| Mista | NPALU | 2,8 (0,40) | 4,8 (0,81) | 1,5 (0,23) | 3,5 (0,66) | 5,1 (0,45) | 4,9 (0,67) | 4,7 (0,31) | 2,9 (0,77) |
| | NPZRW | 2,5 (1,16) | 3,0 (0,91) | 2,1 (0,96) | 2,6 (0,94) | 3,1 (1,00) | 2,7 (0,74) | 2,9 (0,94) | 2,4 (1,27) |
| | NPZRC | 2,2 (0,55) | 2,4 (0,89) | 2,2 (0,43) | 1,9 (0,78) | 2,2 (0,72) | 2,1 (0,70) | 2,1 (0,80) | 2,2 (0,54) |
| Pintura | NPALU | 10,5 (1,39) | 12,1 (1,22) | 9,4 (1,42) | 11,3 (1,82) | 12,0 (0,74) | 11,6 (0,48) | 11,1 (0,62) | 9,1 (1,13) |
| | NPZRW | 4,7 (1,06) | 4,7 (1,32) | 4,7 (1,04) | 4,6 (1,39) | 5,2 (1,02) | 5,3 (1,13) | 5,2 (1,13) | 4,5 (1,06) |
| | NPZRC | 4,7 (1,27) | 5,6 (1,33) | 4,5 (1,65) | 5,3 (1,49) | 5,7 (0,97) | 6,0 (0,96) | 5,5 (1,34) | 4,5 (1,47) |

Após o “glaze”, os valores médios variaram entre 12,1 para o material alumina no fundo Co-Cr jateado com a técnica de injeção/pintura e 0,5 para o material alumina no fundo Ag-Au-Pt polido e também para o material zircónia no fundo Co-Cr jateado, ambos na técnica de estratificação. Na técnica de injeção/pintura verificaram-se sempre valores de $\Delta E^* > 3,7$ para todos os materiais de estrutura. Nas técnicas de estratificação e mista as duas zircónias apresentaram um comportamento idêntico, tendo registado valores de $\Delta E^* < 1,6$ na técnica de estratificação e valores de $\Delta E^* > 1,6$ e $< 3,7$ na técnica mista. O material alumina apresentou um comportamento menos uniforme, sendo

idêntico ao das zircónias apenas para os fundos Co-Cr Polido, Ag-Au-Pt Jateado e Zircónia. No fundo Ag-Au-Pt Polido nas duas técnicas verificou-se $\Delta E^* < 1,6$. Para os fundos Co-Cr Jateado, Compósito, Dentina e Titânio registou-se $\Delta E^* > 1,6$ e $< 3,7$ na técnica de estratificação e $\Delta E^* > 3,7$ na técnica mista.

Na comparação entre os valores de ΔE^* obtidos no momento inicial, apenas com as infraestruturas, e no momento final, após a aplicação do glaze, realizada com o teste estatístico não paramétrico segundo Wilcoxon, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$). Os valores de ΔE^* diminuíram da fase de estrutura para a fase de glaze, com todos os fundos (Figura 2.31).

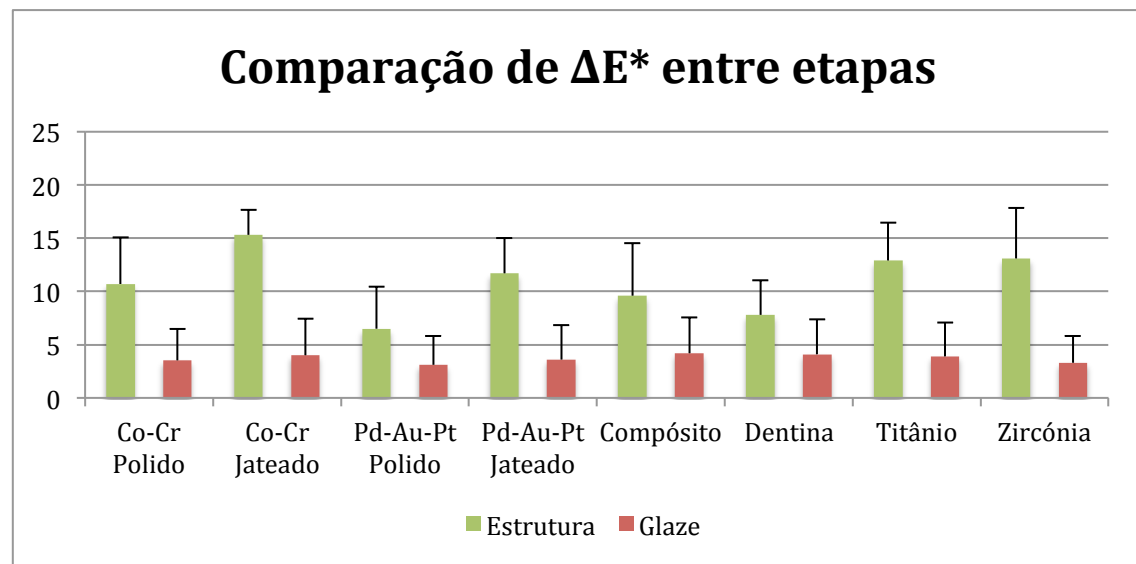


Figura 2. 31 - Distribuição dos valores ΔE^* , na etapa de estrutura e na etapa de glaze para todos os fundos (n=15).

O material cerâmico de alta resistência influenciou de forma estatisticamente muito significativa ($p < 0,001$) o ΔE^* com todos os fundo, no momento inicial só com infraestrutura. Para os fundos compósito e zircónia, todos os materiais apresentaram valores estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,05$). Para os restantes fundos, a alumina apresentou valores de ΔE^* semelhantes aos obtidos com a zircónia colorida ($p > 0,05$), tendo o ΔE^* observado com estes dois materiais sido estatisticamente ($p < 0,05$) menor que o ΔE^* obtido com a zircónia branca (Figura 2.32).

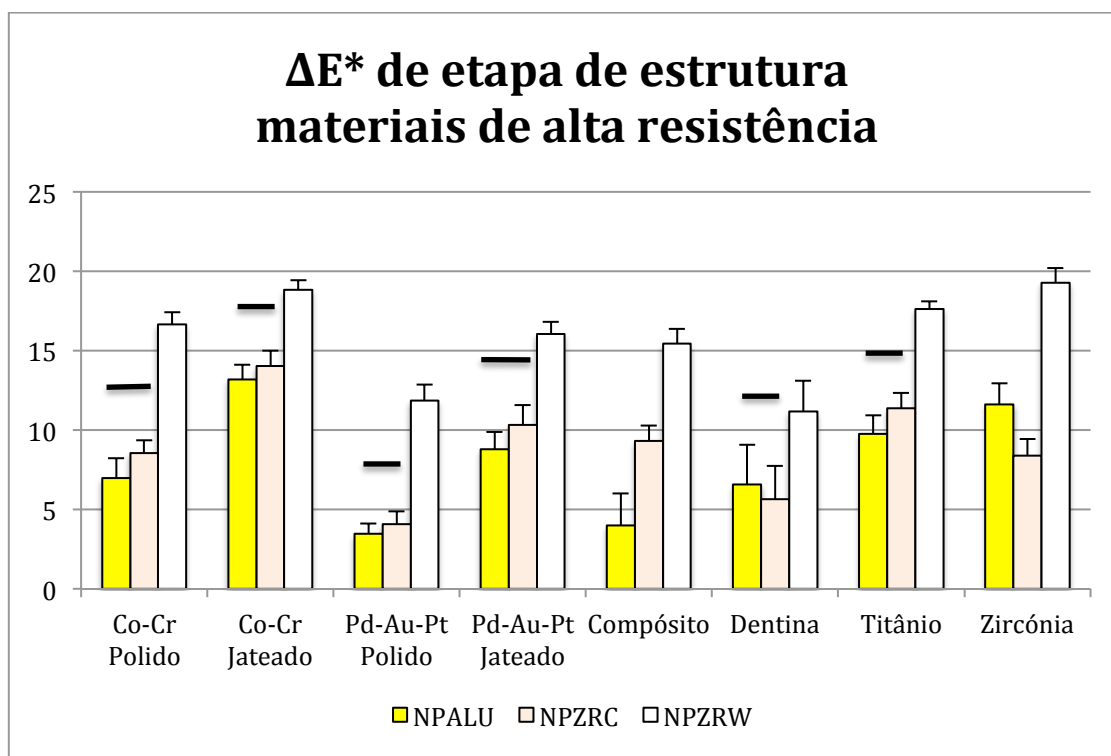


Figura 2. 32 - Distribuição dos valores de ΔE^* dos materiais de alta resistência sobre os diferentes fundos, na etapa de estrutura (n=15; para o mesmo fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

No momento após o “glaze”, só se observaram diferenças entre os materiais cerâmicos de alta resistência com os fundos CrCo jateado ($p=0,030$), compósito ($p=0,009$) e dentina ($p=0,019$). No entanto, para todos os fundos, não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p>0,05$) entre o ΔE^* obtido com as duas zircónias (Figura 2.33).

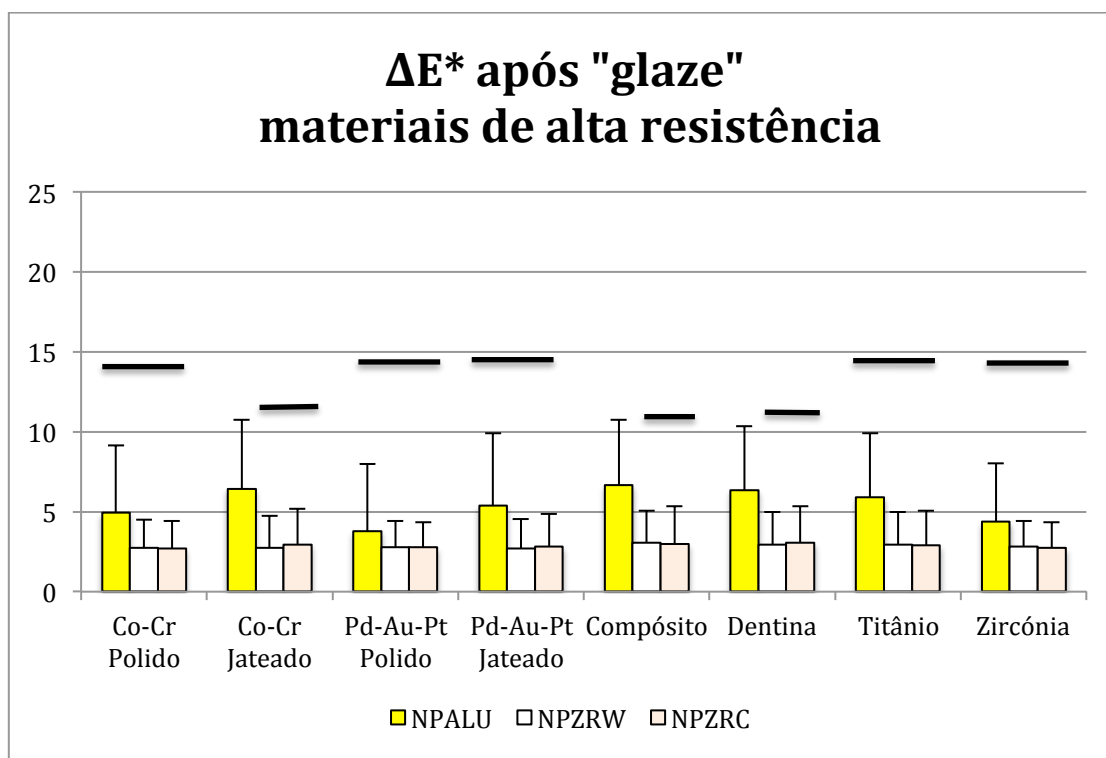


Figura 2. 33 - Distribuição dos valores de ΔE^* dos materiais de alta resistência sobre os diferentes fundos, na etapa de "glaze" (n=15; para o mesmo fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Procedeu-se de seguida à análise da influência das técnicas de recobrimento. Relativamente à técnica de estratificação, verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os três materiais de estrutura nos fundos Co-Cr jateado, Ag-Au-Pt polido, compósito, dentina e titânio. Para esta técnica verificou-se ainda existirem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre a alumina e as duas zircónias para os fundos Ag-Au-Pt polido, compósito, dentina e titânio (Figura 2.34).

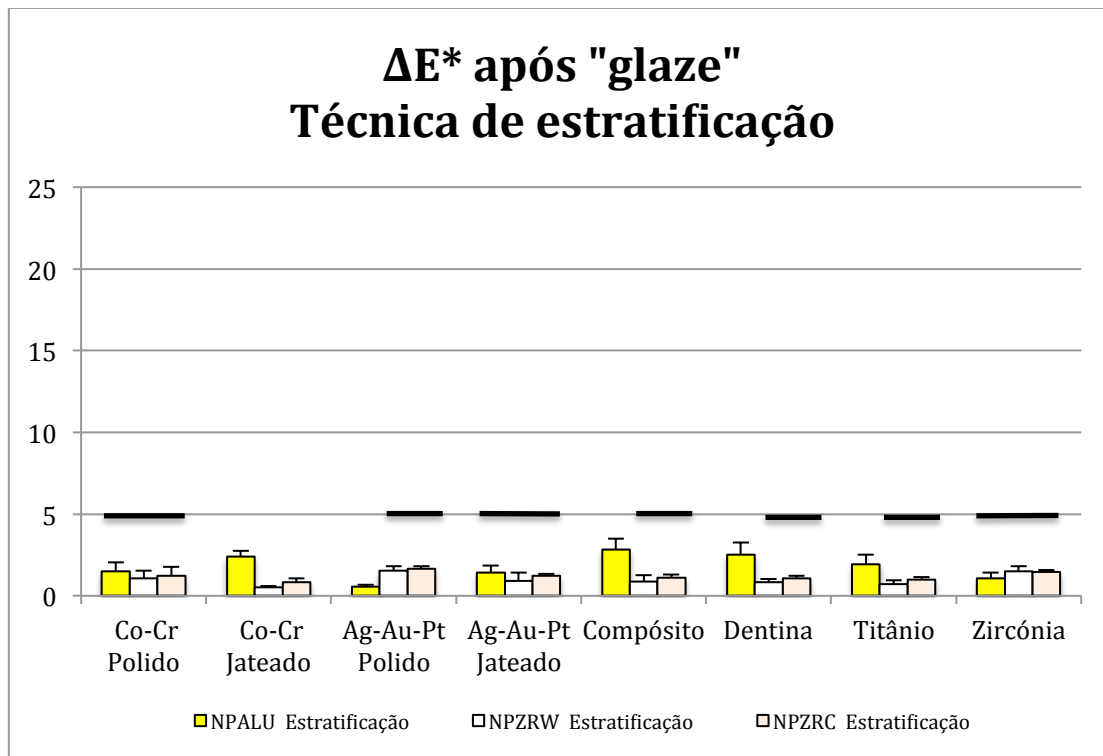


Figura 2. 34 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para técnica estratificação (n=5; para cada fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Para a técnica mista de injeção/estratificação, a análise revelou existirem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os três materiais de estrutura nos fundos Co-Cr jateado, compósito, dentina e titânio. Para esta técnica verificou-se existirem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre a alumina e as duas zircônias para os mesmos fundos (Figura 2.35).

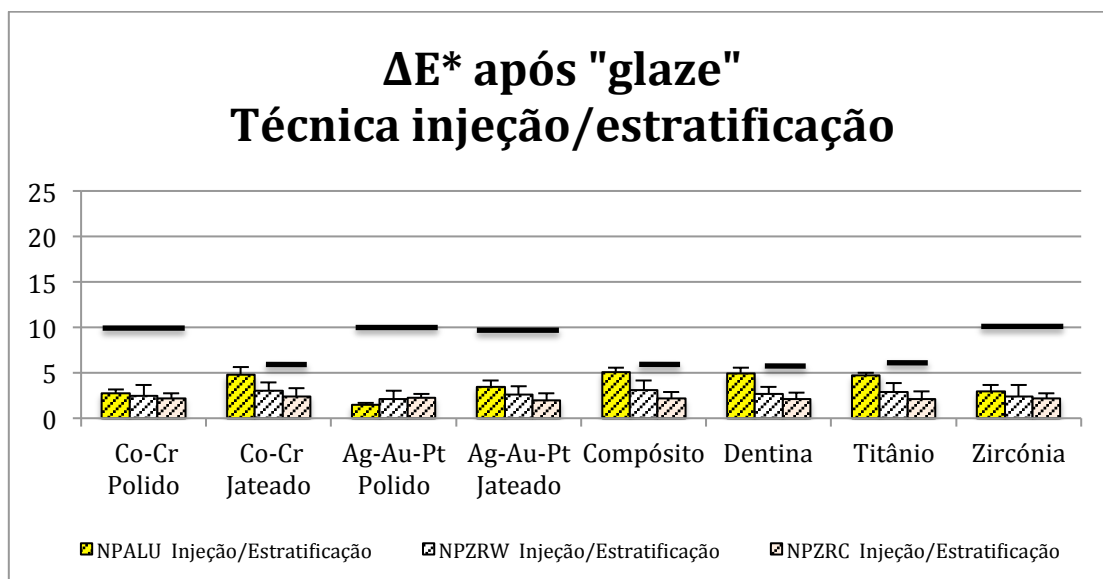


Figura 2. 35 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para técnica estratificação (n=5; para cada fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Na técnica de pintura, após a análise verificou-se existirem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os três materiais de estrutura para todos os fundos, nomeadamente Co-Cr polido, Co-Cr jateado, Ag-Au-Pt polido, Ag-Au-Pt jateado, compósito, dentina, titânio e zircônia. Para esta técnica verificou-se existirem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre a alumina e as duas zircônias também para todos os fundos (Figura 2.36).

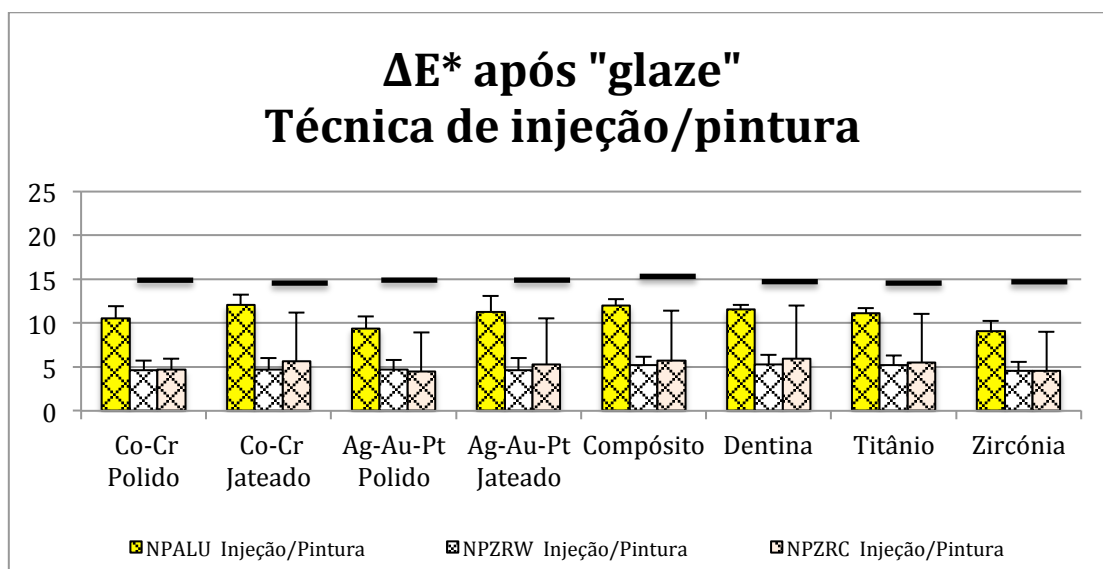


Figura 2. 36 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para técnica estratificação (n=5; para cada fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Da mesma forma que já se tinha procedido para a análise dos dados de transmitância, e na tentativa de investigar a existência de uma possível interação entre os dois fatores estudados, realizaram-se testes estatísticos para avaliar a influência da técnica de recobrimento para cada material de infraestrutura. Para todos os materiais e com todos os fundos, apenas se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o ΔE^* obtido com a técnica de estratificação e a de pintura. Com a técnica de pintura foi obtido um ΔE^* mais elevado que o obtido com a técnica de estratificação (Figura 2.37).

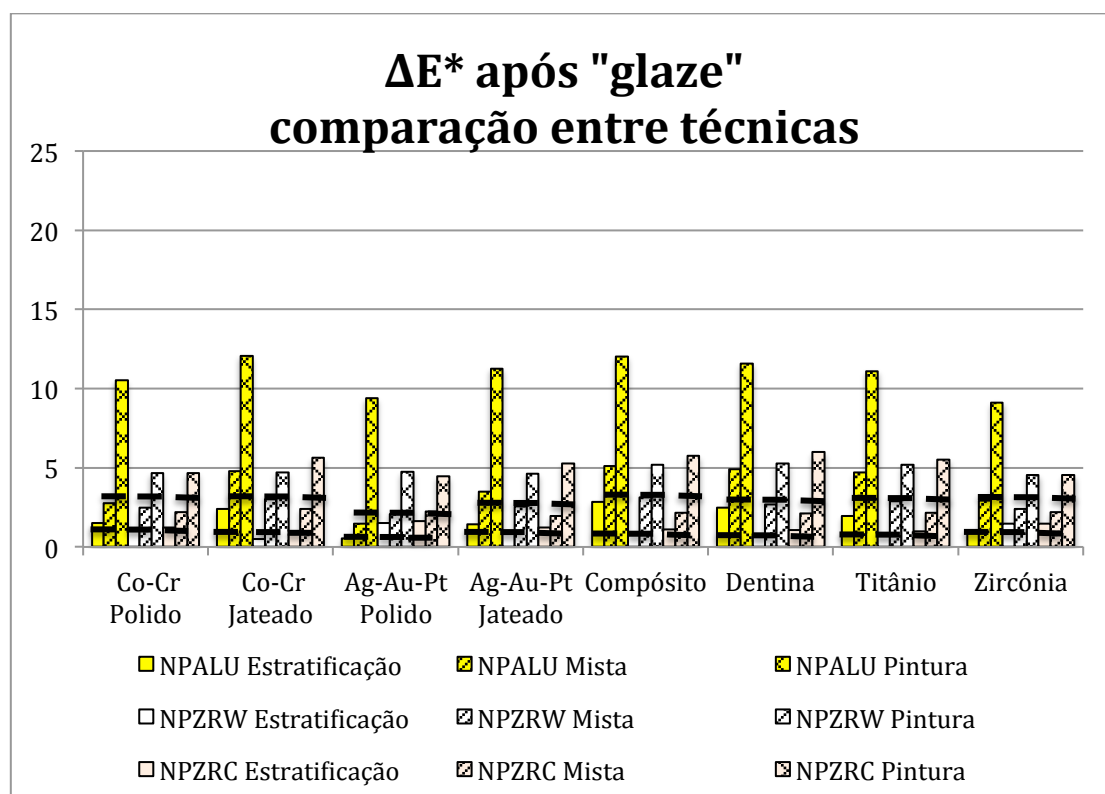


Figura 2. 37 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para todas as técnicas (n=5; para cada fundo e cada material, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Os testes não paramétricos para medições repetidas, ANOVA de duas vias às ordens segundo Friedman, permitiram verificar que, com exceção dos grupos experimentais de zircónia branca com técnica de injeção ($p=0,069$) e zircónia colorida com técnica mista ($p=0,073$), o tipo de fundo influenciou de forma estatisticamente significativa ($p < 0,01$) os valores de ΔE^* .

2.5 DISCUSSÃO

A utilização de infraestruturas de zircónia, só por si, não mostrou até agora uma grande melhoria no aspecto estético das restaurações, uma vez que a sua cor branca e a sua baixa translucidez limitam ainda a possibilidade de esta imitar um dente natural. Por isso, é necessário recorrer a técnicas de recobrimento com cerâmicas feldspáticas, existindo poucos estudos que atestem o efeito dessas técnicas no comportamento estético deste tipo de restaurações (Vichy et al., 2011).

Tradicionalmente, tem sido utilizada a técnica de estratificação para a aplicação de cerâmica de revestimento sobre infraestruturas fabricadas em diversos materiais. No entanto, o desenvolvimento da técnica de injeção, introduzida pelo sistema IPS Empress (Ivoclar, Liechtenstein) na década de oitenta, permitiu que esta fosse encarada como uma alternativa viável à técnica tradicional para o recobrimento tanto de estruturas de metal, como de estruturas em materiais cerâmicos de alta resistência, nomeadamente de zircónia.

2.5.1 Discussão da metodologia

No presente trabalho procurou-se reproduzir as técnicas de recobrimento cerâmico segundo as quais é possível realizar em laboratório restaurações totalmente em cerâmica. Para as poder utilizar convenientemente, técnicos de prótese e médicos dentistas necessitam saber se a estética das restaurações pode ser afectada pela técnica de recobrimento (Luo et al., 2010). Procurou-se também criar modelos que fizessem a simulação das situações clínicas de suporte de restaurações totalmente cerâmicas sobre dentes (Co-Cr polido, Co-Cr jateado, Ag-Au-Pt polido, Ag-Au-Pt jateado, compósito ou dentina) ou sobre implantes (titânio, zircónia ou ainda Co-Cr polido, Co-Cr jateado, Ag-Au-Pt polido, Ag-Au-Pt jateado). A presença de zonas de dente pigmentadas, amálgama ou outros materiais dentários coloridos, bem como falsos cotos metálicos ou espigões de fibra de carbono podem interferir com o resultado estético desejado (Vichy et al., 2011). Neste estudo, para além das estruturas de zircónia foi

também utilizado, como grupo de controlo, estruturas de alumina com 99,9% de óxido de alumínio densamente sinterizado. Tal como a zircónia, a alumina densamente sinterizada do sistema Nobel Procera é também um material altamente cristalino (Odman et al, 2001).

No presente estudo foi utilizado o método de transmitância direta por ser um método simples e acessível mas igualmente fiável (Baldissara et al., 2010; Nogueira et al., 2013).

A medição da translucidez pode ser feita com base em diferentes parâmetros, tais como: percentagem de transmitância (%T) (Nogueira et al; 2013); parâmetro de translucidez (TP)(Wang et al., 2013; Nogueira et al., 2013) ; ou índice de contraste (CR) (Spyropoulou et al., 2011; Liu et al., 2013; Nogueira et al., 2013). No presente estudo foi utilizada a média da percentagem de transmitância (%T) no intervalo do espectro do visível (380-800 nm). Este intervalo não é consensual na literatura, uma vez que se encontram estudos com vários intervalos (380-700 nm (Liu et al., 2013); 300-800 (Nogueira et al., 2013)) ou ainda a utilização de um comprimento de onda específico (525 nm) (Nogueira et al., 2013). A opção por um limite superior mais alto baseou-se no facto de a percentagem de transmissão aumentar ao longo do espectro e permitir por isso ter valores de média mais elevados, sabendo-se à partida que os valores de transmitância direta são baixos. No sentido de potenciar os resultados, procurando minimizar as perdas de transmissão por dispersão pelos bordos da amostra foi construído um suporte específico para adaptação dos espécimes ao espectrofotómetro (descrito na secção 2.2.2.1), tal como verificado noutros estudos (Baldissara et al., 2010; Duran et al., 2012). Foram observados valores para a média da percentagem de transmitância que oscilaram entre 1,51% no grupo NPALU M na estrutura e 0,19% no grupo NPZRC E após o “glaze”.

Após pesquisa nas revistas especializadas de língua inglesa não foi encontrado nenhum artigo que apontasse uma redução axial ideal para restaurações em zircónia e tal tinha já sido referido por Choi et al. (2013). Não existe um padrão nem uniformidade para a escolha da espessura da infraestrutura e do espécime representativo de uma restauração completa. Tal diversidade é justificada pela diferença dos objetivos e também das metodologias adotadas. Contudo é sabido que a transmissão total da zircónia no

espectro do visível (380-700 nm) diminui muito significativamente com o aumento da espessura até 0,5 mm e não apresenta grande diminuição entre 0,5 até 1 mm (Ban, 2008). Alguns autores optam por utilizar espessuras padrão em função da infraestrutura de acordo com as opções e recomendações do respetivo fabricante, que podem variar entre 0,3 mm e 0,5 mm para o sistema LAVA, 0,5 mm para o sistema CEREC, 0,4 mm e 0,6 mm nos sistemas PROCERA e CERCON (Baldissara et al., 2010; Liu et al., 2013) ou ainda espessuras de 0,5 mm, 0,8 mm ou 1,0 mm no sistema ZIRKONZAHN de pantógrafo. Outros autores, que utilizam espessuras de estrutura também variáveis, fazem variar a espessura entre 0,4 e 1 mm em todos os materiais utilizados, analisando todas as espessuras dentro do intervalo com diferenças entre elas de 0,1 mm (Wang et al., 2013). Entre os autores que utilizam uma espessura fixa verifica-se que fazem uma opção por uma das espessuras padronizada pela marca para comercialização, como 0,6 mm (Spyropoulou et al., 2011) ou 0,4 mm (Choi et al., 2013) no sistema PROCERA. A espessura de 0,4mm é recomendada para zonas anteriores e em particular em situações clínicas onde existe pouca carga oclusal, enquanto que a espessura de 0,6mm é preconizada para zonas posteriores. Também no presente estudo a opção recaiu em utilizar uma espessura fixa de 0,4 mm, padronizada pelo fabricante como mínima para o fabrico de estruturas em alumina ou em zircónia para o sector anterior, garantindo resistência mecânica à restauração mas também uma espessura adequada de cerâmica feldspática de recobrimento. A espessura final dos espécimes foi fixada em 1,6 mm, da qual 1,2 mm correspondeu à cerâmica de recobrimento, de modo a simular a espessura média de uma restauração anterior na região do terço médio/incisal do dente.

A espessura da cerâmica de recobrimento foi também padronizada em todas as camadas, uma vez que variações da cor ou da espessura da cerâmica de recobrimento entre 0,7 e 1,1 mm podem registar alterações de cor das restaurações em função da estrutura utilizada (Stevenson et al., 2010). Como o aumento da espessura das camadas de cerâmica diminui a transmitância, deste modo pretendeu-se evitar um viés metodológico.

A cor de espécimes utilizados em estudos de translucidez e cor é também muito variável, verificando-se que variações da cor base da infraestrutura podem promover alterações de translucidez e cor das restaurações finais (Stevenson et

al., 2010). Por essa razão foi feita a opção de utilizar uma cor standard (D3 VITA), escolhida por conveniência de disponibilidade de material.

De uma forma geral, verifica-se que nos estudos que fazem avaliação de cor com espectrofotômetros portáteis são feitas entre três e cinco leituras repetidas dos espécimes, sendo depois utilizado o valor da média das medições (Chu et al., 2007; Spyropoulou et al., 2010; Wang et al., 2013). A repetibilidade de leitura do espectrofotômetro Easy Shade (Vita Zahnfabrik, Alemanha) foi já testada, verificando-se que ela é elevada e comparável ao dos espectrofotômetros de bancada (Corciolani, 2009). Em face do numero de leituras estimadas para a realização do estudo, entendeu-se por isso fazer um estudo piloto para avaliar a repetibilidade de leituras do equipamento, no sentido de utilizar apenas uma leitura por espécime. Verificou-se não existirem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a primeira medição e a média de cinco medições em cada espécime, e por isso no presente estudo só foi realizada uma leitura por espécime.

Para simular o ambiente oral, tem sido referido a utilização de glicerol como agente de união na medição de cor e translucidez (excepto para %T). O glicerol mostrou ter uma influência significativa na percepção de cor e translucidez, indicando que este factor é importante e deve ser tido em consideração (Nogueira et al., 2013). O índice de refração (n) é a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz num determinado ambiente. O n da luz no ar ($n_{ar} = 1,00029$ a 15°C e 1 atm de pressão) é diferente do n da luz em condições de humidade (Della Bona, 2009; Nogueira et al., 2013). Assim, no presente estudo foi utilizado glicerol ($n_G = 1,48$) como agente de união entre os fundos e os espécimes de cerâmica.

Na avaliação de diferenças de cor, têm sido sugeridos vários valores de ΔE^* para estabelecer os limites de percepção e de aceitabilidade entre dentes naturais e restaurações (Johnston et al., 1989; Seghi et al., 1989; Chu et al., 2010). Esses valores variam também em função de estudos *in vivo* ou *in vitro*, sendo estes últimos de uma forma geral mais baixos por serem feitos em condições de melhor iluminação e observação. Torna-se assim necessário definir critérios para a análise e discussão dos resultados. Apesar de este ser um estudo *in vitro*, tomaram-se como referencia os valores de ΔE^* médios de estudos *in vivo*, por

estes estarem mais próximos do objectivo central de criar uma restauração dentária, que é o de esta ser imperceptível ao olho humano e de ser aceite pelo paciente, em especial quando esta se situa no sector anterior. As referências encontradas na literatura como limite de aceitabilidade entre dentes e restaurações em estudos *in vivo* apontam para ΔE^* entre 2,6 e 3,7 (Johnston et al., 1989; Douglas et al., 2007). Entre dentes naturais adjacentes (incisivos centrais superiores) são registados valores de ΔE^* entre 0,1 e 1,6 e entre dente e restauração totalmente em cerâmica um ΔE^* entre 0,2 e 2,9, com média de 1,6 (Ishikawa-Nagai et al., 2009). Assim, no presente estudo e nos seguintes, os resultados foram discutidos com base no valor de $\Delta E^*=1,6$ para o limite de imperceptibilidade e de $\Delta E^*=3,7$ para o limite de aceitabilidade (Suputtamongkol et al., 2013).

As opções e as limitações até aqui referidas devem ser levadas em consideração na avaliação e apreciação dos resultados obtidos neste estudo e nos seguintes apresentados neste trabalho de investigação.

2.5.2 Transmitância

A translucidez final do sistema infraestrutura/cerâmica de recobrimento é importante para alcançar um elevado resultado estético (Kelly et al., 1996; Xiao et al., 2010). No presente estudo, a transmissão de luz diminuiu significativamente após a aplicação da cerâmica de recobrimento, independentemente da técnica utilizada. Tal fica a dever-se ao aumento da espessura da quantidade de cerâmica de 0,4 mm para 1,6 mm e é explicada pela lei de Lambert-Beer. Resultado semelhante foi registado num estudo de comparação das mesmas três técnicas em estruturas de zircónia (ZirCAD) de 0,5 mm revestidas numa espessura final de 1,2 mm (Luo et al., 2010).

No presente estudo, foram encontradas diferenças entre a transmitância directa obtida com as várias estruturas de cerâmica de alta resistência. No único estudo encontrado onde é feita a comparação de translucidez entre estruturas de alumina e zircónia da mesma marca (Nobel Procera) e mesma espessura (0,4mm) (Liu et al., 2013), apesar de ter sido utilizado metodologia diferente e

ter sido calculado o índice de contraste (CR), verificou-se ainda assim que também a alumina apresentou maior translucidez que a zircónia.

Apesar dos valores de %T registados serem baixos, conforme esperado, ainda assim são mais elevados do que os registados num estudo recente com materiais de base feldspática, onde foi utilizada uma espessura de 1,0mm e um comprimento de onda específico (525 nm) (Nogueira et al., 2013). Nesse estudo, onde foram feitas comparações entre %T, TP e CR, registaram-se valores de %T que variaram entre de 0,26% para disilicato de lítio de baixa translucidez (IPS emax CAD, Ivoclar) e 0,47% para cerâmica reforçada com leucita de alta translucidez (IPS empress CAD, Ivoclar). O facto de a transmissão de luz aumentar ao longo do espectro do visível justifica que quando se utiliza um comprimento de onda específico se obtenham valores mais baixos do que quando se calcula a média dos valores no espectro, em particular quando se utiliza um intervalo com um limite superior elevado como foi utilizado no presente estudo. Nesse estudo verificou-se ainda uma elevada correlação entre valores de %T, de CR e de TP. A transmitância direta (%T) e o índice de contraste (CR) podem ser totalmente dependentes do comprimento de onda ou terem cálculos feitos com base na transmitância ou na reflexão luminosa no caso do índice de contraste. No entanto, a transmitância está relacionada com o coeficiente de reflexão interno do material e apresenta algumas limitações em materiais com grande efeito de dispersão como é o caso da cerâmica (Nogueira et al., 2013).

Relativamente à diferença encontrada entre a zircónia branca (NPZRW) e a zircónia colorida média (NPZRC) na etapa de estrutura, também no estudo de Spyropoulou e colaboradores (2011), onde foram testadas três zircónias coloridas de cor clara (Light), média (Medium) e intensa (Intense) da marca Procera (Nobel Biocare) com espessura de 0,6 mm, se verificaram diferenças de translucidez entre as estruturas de zircónia intensa e das outras duas zircónias estudadas, respetivamente $p=0,03$ entre a zircónia clara e a zircónia intensa e $p<0,001$ entre a zircónia média e a zircónia intensa. Entre a zircónia clara e a zircónia média não foram registadas diferenças. No presente estudo utilizaram-se estruturas de zircónia branca (White) e não zircónia de cor clara (Light), o que faz aumentar a diferença de transmitância e consequente influência da

pigmentação sobre o material justificando a diferença encontrada entre NPZRW e NPZRC. A capacidade da pigmentação de estruturas de zircónia, por várias técnicas, modificar a sua translucidez foi também identificada por Baldissara et al. (2010).

Apesar das diferenças encontradas na infraestrutura, verificou-se que, após a aplicação da cerâmica de revestimento, não existiram diferenças entre a translucidez das restaurações finais fabricadas com os dois tipos de zircónia, independentemente da técnica utilizada. No entanto, as restaurações fabricadas com qualquer uma das zircónias estudadas apresentaram uma menor transmissão de luz em relação às de alumina, como já se verificava apenas com as infraestruturas. A diferença de transmitância inicial entre as duas zircónias era na ordem de 0,11%, enquanto que entre a alumina e a zircónias era, respectivamente, de 0,72% para a branca e 0,83% para a colorida. A pequena diferença inicial entre as duas zircónias foi anulada pelo aumento da espessura do espécime após a aplicação da cerâmica de recobrimento (Dozic et al., 2003), não tendo esta sido suficiente para anular a diferença entre as zircónias e a alumina.

As três técnicas de recobrimento tiveram uma influência igual na translucidez das duas zircónias, tendo-se registado diferenças entre a técnica mista e a técnica estratificada. Na alumina, para além desta diferença registou-se também diferença entre a técnica mista e a técnica de pintura. Contudo, verificou-se em todos os materiais de estrutura uma tendência para uma maior transmitância na técnica mista, seguida por ordem decrescente da técnica de pintura e finalmente da técnica de estratificação. Este resultado é diferente do estudo apresentado anteriormente (Luo et al., 2010), onde foram registadas diferenças entre as três técnicas para o material zircónia. Nesse estudo, foi utilizada cerâmica vítrea de fluorapatite para as técnicas injectadas e de nano-fluorapatite para a técnica de estratificação, enquanto que no presente estudo foi utilizada cerâmica feldspática para os dois procedimentos. Por outro lado, no estudo supracitado foi apenas utilizada cerâmica de dentina, enquanto que no presente estudo foi utilizada cerâmica de estratificação de incisal na técnica de estratificação e na técnica mista e também pigmentos extrínsecos na técnica de pintura. As diferenças encontradas entre os dois estudos podem ser explicadas

pela diferença entre as camadas (espessura) e as características das cerâmicas de recobrimento, uma vez que ao nível da estrutura de zircónia foi já sugerido não existirem alterações nas suas propriedades ópticas após esta estar totalmente sinterizada (McLean, 1995). Os resultados obtidos sugerem que o conteúdo cristalino e o tipo de porosidade são diferentes nas cerâmicas de injeção e de estratificação, fazendo variar a reflexão da luz na interface entre os materiais e reduzindo a sua transmitância (Luo et al., 2010).

Rejeitam-se assim as hipótese nulas das hipóteses experimentais nº 1, 2 e 3, por se verificar influencia da aplicação de cerâmica de recobrimento, da técnica de recobrimento e do material de infraestrutura na %T observada.

2.5.3 Diferenças de cor

No presente estudo após a aplicação de cerâmica de recobrimento os valores de ΔE^* diminuíram para todos os grupos de estudo, facto que pode ser justificado pela cor D3 das cerâmicas de revestimento aplicadas em todas as situações experimentais. Pigmentos de óxidos metálicos são adicionados à cerâmica para lhe enriquecer a cor e corresponder aos requisitos clínicos de estética, estando estes presentes na composição dos lingotes de cerâmica injetável, nas cerâmicas de estratificação ou nos pigmentos de coloração extrínseca (Luo et al., 2010). Também a aplicação de cerâmica de recobrimento faz aumentar a espessura dos espécimes que se repercute no aumento do efeito de dispersão de luz e consequentemente diminuição da reflexão, contribuindo para a alteração do valor de ΔE^* (Dozic et al., 2003; Shokry et al., 2006). Verificou-se assim uma influência da aplicação da cerâmica de recobrimento no valor de ΔE^* , rejeitando-se a hipótese nula da hipótese nº 5 formulada.

Relativamente ao material de infraestrutura, verificou-se que na etapa de estrutura o comportamento de NPALU e NPZRC é bastante semelhante e diferente de NPZRW. Como as estruturas de alumina e as estruturas de zircónia colorida apresentam uma coloração amarela mais próxima entre elas do que quando ambas são comparadas com a cor branca de NPZRW é susceptível que os fundos que apresentam grande opacidade possam influenciar de forma idêntica o valor de ΔE^* das estruturas, uma vez que a sua reflexão é atenuada de forma

idêntica pela coloração da estrutura. Apesar da zircónia ser também um material com elevada opacidade, as diferenças de ΔE^* observadas sobre este fundo podem ser atribuídas à sua intensa cor branca resultante da adição de óxidos estabilizadores de CaO, MgO e Y_2O_3 (Choi et al., 2012). Após a aplicação de cerâmica de recobrimento as duas zircónias evidenciaram um comportamento similar para todos os fundos, revelando que o efeito do aumento de espessura do espécime se sobrepõe ao efeito de cor da infraestrutura. O facto de a alumina não apresentar o mesmo comportamento pode relacionar-se com a maior translucidez evidenciada pelo material em comparação com as zircónias que implica numa maior influência do fundo nos valores de ΔE^* registados. Segundo os resultados obtidos neste trabalho nota-se uma tendência para um comportamento idêntico entre as duas zircónias sendo diferente do verificado na alumina, rejeitando-se por isso a hipótese nula da hipótese 4 formulada.

Entre as técnicas investigadas verificou-se uma diferença estatística entre a técnica de estratificação e a técnica de pintura. Os valores de ΔE^* observados na técnica de pintura foram todos acima do limite de aceitabilidade clínica ($\Delta E^* > 3,7$) por oposição aos observados na técnica de estratificação onde as duas zircónias registaram sempre valores abaixo do limite de perceptibilidade ($\Delta E^* < 1,6$). A diferença de ΔE^* entre as duas técnicas foi sempre superiores a duas unidade e por isso também perceptíveis aos observadores (Johnston et al., 1989; Luo et al., 2010).

Entre estas duas técnicas a diferença entre as cerâmicas de recobrimento utilizadas é a mais substancial. Na técnica de pintura, os pigmentos extrínsecos aplicados visam modificar o croma da restauração e fazem também diminuir o valor, por isso a cerâmica injetada corresponde à cor mais clara da matiz para haver um maior controlo do valor da restauração (neste caso D2 VITA). A diferença de pigmentação entre os materiais das duas técnicas é por isso assinalável e terá um papel importante nas diferenças observadas, sabendo-se que a translucidez e a cor das restaurações é afectada pela técnica de recobrimento (Sailer et al., 2007; Xiao et al., 2010) e também pelos pigmentos extrínsecos (Luo et al., 2010; Wang et al., 2011).

Entre a técnica de estratificação e a técnica mista esta diferença é bastante menor porque a cerâmica injetada da técnica mista é de cor D3 VITA e

portanto muito mais aproximada em termos de pigmentos de coloração aos utilizados na cerâmica de dentina da mesma cor para a técnica de estratificação, sendo a aplicação de cerâmica de incisal e glaze igual para as duas técnicas. Apesar de se verificar um aumento generalizado dos valores de ΔE^* para todos os grupos na técnica mista, todos eles se situam dentro do limite de aceitabilidade clínica ($\Delta E^* < 3,7$) e podem ser relacionados com a maior translucidez da camada de cerâmica injetada.

No estudo de transmitância apresentado anteriormente tinha sido observado que a técnica mista apresentava maior %T em todos os materiais estudados, permitindo assim uma maior influência do fundo no ΔE^* observado. De facto na técnica mista a maior translucidez do material de recobrimento associada à cor e translucidez do material de infraestrutura evidencia uma maior influência dos fundos, mais evidente no material alumina do que nas duas zircónias. Este factor pode ser também observado na técnica de pintura, onde os valores de ΔE^* ultrapassaram o limite de aceitabilidade clínica para todos os grupos, tendo a alumina registado valores substancialmente mais elevados que as duas zircónias. Nesta técnica não pode ser desprezada a influência do efeito de pigmentação externa. No estudo de transmitância observou-se menor translucidez nesta técnica do que na técnica mista, apesar da camada de cerâmica injetada ser de maior espessura na técnica de pintura, evidenciando a influência da pigmentação na diminuição da translucidez.

Apesar das cores utilizadas serem as mesmas dentro das três técnicas verifica-se existirem diferenças na concentração dos pigmentos entre as várias formas de apresentação do material que associados à diferença entre as infraestruturas e homogeneidade e volume poroso da cerâmica de recobrimento induzem diferenças de cor e saturação (Stevenson et al., 2010; Luo et al., 2010).

Por fim, regista-se o facto de a técnica de estratificação ser aquela na qual os três materiais evidenciam uma menor diferença de ΔE^* para qualquer dos fundos. O facto da técnica de estratificação ser a mais antiga e aquela na qual os fabricantes de cerâmicas de recobrimento maior atenção e conhecimento têm colocado ao longo dos tempos, parece favorecer o melhor desempenho dos materiais nesta técnica. De forma oposta tem-se a técnica de injeção/pintura, onde a maior translucidez obtida pela injeção de cerâmica implica uma maior

influencia do fundo, que é ainda potenciada pela aplicação, não controlada, de pigmentos extrínsecos. Rejeita-se assim a hipótese nula formulada, da hipótese experimental nº 6, por se verificar influencia da técnica de recobrimento no valor de ΔE^* observado.

Os dentes preparados para receber restaurações totalmente em cerâmica poderão não ser de cor neutra. Por isso, neste estudo foram utilizados fundos com diferentes parâmetros de cor, tais como o da dentição natural e vários sistemas de falsos cotos ou compósito poste e ainda de pilares para suporte de restaurações sobre implantes (Carossa et al., 2001; Luo et al., 2010).

O comportamento ótico dos materiais metálicos e não metálicos é diferente por causa da sua composição atômica. Nos materiais metálicos a luz incidente é fortemente refletida pela superfície, tornando-se opacos e muito reflectores, podendo a sua cor ser efetivamente observada através de materiais translúcidos. Nos materiais não metálicos acontece o oposto, pois a absorção e refração de luz no interior do material e na zona de interface provoca um efeito de dispersão importante para as propriedades óticas observadas (Suputtamongkol et al., 2013).

No presente estudo, após a aplicação de todas as camadas de cerâmica pelas três técnicas, verificou-se não existir diferença de ΔE^* entre os oito fundos apenas em duas situações: na zircónia branca (NPZRW) recoberta pela técnica de pintura e na zircónia colorida (NPZRC) recoberta pela técnica mista. Nas técnicas mista e de pintura não é utilizada cerâmica de “liner” sobre as infraestruturas sendo a cerâmica injetada diretamente sobre a infraestrutura. Conforme já discutido no ponto anterior a cerâmica injetada apresenta maior translucidez do que a cerâmica estratificada e por isso a cor da infraestrutura tem maior influencia na cor dos espécimes. No caso da técnica mista a pigmentação de cor média da infraestrutura associada à translucidez da camada injetada atenua a influencia dos fundos, uniformizando mais as diferenças de cor observadas, enquanto que na técnica de pintura, por aumento da espessura da cerâmica de recobrimento injetada, a cor branca da infraestrutura se sobrepõe ao efeito dos fundos.

Entre as duas zircónias, nas duas técnicas registou-se sempre $\Delta E^* < 1$, valor apenas observável instrumentalmente, mas que foi o suficiente para

provocar as diferenças observadas estatisticamente. Suputtamongkol e colaboradores (2013) tinham já feito referencia a diferenças de ΔE observadas entre coroas de zircónia provadas e cimentadas sobre falsos cotos metálicos e compósitos poste que também não registaram diferenças estatisticamente significativas. Apesar disso concluíram que a cor do fundo pode afetar a cor das restaurações de zircónia feitas com infraestruturas com espessura mínima recomendada.

De entre todos os materiais de fundo estudados o compósito apresenta uma maior translucidez não tendo tanta influência na cor dos materiais de estrutura observada por reflexão pelo facto da luz sofrer maior dispersão no material e logo menor reflexão que possa ser absorvida pelo espécime. A translucidez natural das resinas microparticuladas pode estar relacionada com o tamanho das partículas de carga que varia de 0,01 a 0,05 μ m e permite uma maior passagem da luz. Relativamente à quantidade de carga, as resinas de micropartículas possuem aproximadamente 30 a 50% de carga inorgânica, portanto a maior quantidade de matriz resinosa presente também proporciona maior passagem de luz em comparação com outros materiais (Hirata, 2008).

Relativamente à influencia dos fundos salienta-se ainda o facto de o fundo Ag-Au-Pt polido ser o único que permite um $\Delta E^* < 1,6$ em duas técnicas diferentes, nomeadamente a técnica de estratificação e a técnica mista, para o material alumina. A translucidez da infraestrutura associada à intensa cor amarela refletida pelo fundo é determinante para estes resultados. Rejeita-se assim a hipótese nula formulada, da hipótese experimental nº 7, por se verificar influencia do fundo no valor de ΔE^* observado.

2.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir:

1. A cerâmica utilizada para o fabrico da infraestrutura influenciou a transmissão de luz. A alumina mostrou ter maior transmitância do que as zircónias, antes e após o recobrimento com as técnicas investigadas.

2. A aplicação de cerâmica de recobrimento influenciou a transmissão de luz. A sua utilização anulou a diferença inicial entre as estruturas de zircónia.
3. A técnica de recobrimento influenciou a transmissão de luz. A técnica mista apresentou uma maior transmitância que a técnica de estratificação. A técnica mista apenas apresentou uma maior transmitância que a técnica de pintura para o material alumina.
4. A cerâmica de infraestrutura influenciou a cor das amostras. No entanto, para todos os fundos, não se observaram diferenças entre as duas zircónias, após a queima de “glaze”.
5. A cerâmica de recobrimento influenciou o ΔE^* das amostras, fazendo-o diminuir substancialmente entre a etapa de estrutura e a etapa de glaze, para todos os materiais de estrutura e com qualquer das técnicas.
6. A técnica de recobrimento influenciou a cor das amostras. A influência das técnicas de recobrimento experimentais no valor de ΔE^* da alumina foi diferente do das zircónias. A técnica de recobrimento de injeção/pintura não permite obter um valor de ΔE^* clinicamente aceitável para nenhum dos materiais de estrutura estudados. A técnica de estratificação é a única que permite obter valores de ΔE^* dentro do limite de imperceptível para as duas zircónias, independentemente do fundo.
7. O tipo de fundo influenciou a cor da restauração.

3 INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA CERÂMICA NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

3.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas totalmente em cerâmica apresentam um potencial para igualar as propriedades óticas dos dentes naturais. (Pires-de-Souza et al., 2009; Ho-Nam et al., 2010). A translucidez da infraestrutura tem sido identificada como o principal fator para controlar a estética das restaurações, tornando-se por essa razão, decisivo na seleção de materiais (Kelly et al, 1996; Sahin et al., 2010). No entanto, ao contrário das infraestruturas de metal, completamente opacas, a maior parte das infraestruturas de cerâmica apresentam alguma translucidez intrínseca e podem interagir com o fundo sobre o qual são cimentadas. Por esta razão, a translucidez das infraestruturas em cerâmica de elevada resistência mecânica, como a alumina e a zircônia, pode ter um efeito negativo e inesperado no resultado estético de uma restauração.

A maioria das estruturas de zircônia têm por base policristais de zircônia parcialmente estabilizada com ítria na fase tetragonal, sendo por isso normalmente denominadas como Y-TZP (Conrad et al., 2007; Denry et al., 2008; Guess et al., 2011; Zarone et al., 2011). No entanto, apesar do material ser normalmente comercializado com a mesma denominação, entre as zircônias disponibilizadas pelos diversos fabricantes presentes no mercado, podem verificar-se pequenas diferenças de microestrutura e de composição (Guazzato

et al., 2004). Como resultado dessas diferenças, e devido ao aumento ou diminuição do efeito de dispersão da luz por elas causado, os vários materiais de zircónia utilizados para o fabrico de infraestruturas de próteses dentárias fixas podem apresentar diferentes graus de opacidade (Carter et al., 2007).

Do ponto de vista estético, é desejável que os materiais de restauração apresentem uma capacidade de transmissão de luz semelhante às várias estruturas dentárias que se pretendem substituir. Se por um lado, e de uma forma geral, não é muito desejável a utilização de materiais muito opacos porque não conseguem imitar as características óticas dos dentes naturais, por outro, são requeridos materiais mais opacos sempre que é necessário mascarar cotos dentários muito pigmentados ou mesmo falso cotos metálicos utilizados em dentes naturais ou implantes (Suputtamongkol et al., 2013). As infraestruturas confeccionadas em zircónia, que apresentam maior opacidade que os restantes sistemas cerâmicos disponíveis, podem ser utilizadas para camuflar as cores escuras dos cotos sobre os quais são colocadas (Baldissara et al., 2010). Para otimizar o resultado clínico é importante determinar o efeito de cada tipo de estrutura na cor final das restaurações (Stevenson et al., 2010). Alguns sistemas de zircónia modificados têm sido lançados no mercado com o intuito de, aumentando a sua translucidez, maximizar as suas propriedades estéticas. No entanto, o impacto que os diversos fundos podem ter na cor final das restaurações fabricadas com este tipo de materiais ainda não se encontra bem estudado.

3.1.1 Fatores de manipulação que modificam o comportamento das cerâmicas cristalinas

A evolução da tecnologia CAD-CAM tem permitido o desenvolvimento de variados sistemas que permitem manipular cerâmicas de alta resistência com técnicas diferentes, fabricando infraestruturas em alumina ou zircónia, que apresentam diferente translucidez. Entre estes materiais, as estruturas de zircónia são apontadas como tendo menor translucidez do que as estruturas de alumina (Sadan et al., 2005). Este fator pode afetar o resultado estético e as escolhas clínicas para a utilização de restaurações dentárias fixas (Baldissara et

al., 2010) e obriga ao recurso de técnicas de recobrimento com cerâmica mais translúcida para alcançar o efeito final desejado (Andersson et al., 1993; Webber et al., 2003; Sahin et al., 2010). Ainda assim, a alumina do sistema Procera AllCeram (Nobel Biocare AB, Goteborg, Sweden) tem revelado ótimos resultados estéticos (Odman et al., 2001).

Os fabricantes dos vários sistemas de zircônia comercializados têm procurado melhorar o seu comportamento estético através de vários processos: infiltração (infiltração de restaurações fresadas, com soluções de sais de óxidos raros, na fase de pré-sinterização para obter estruturas coloridas) (Shah et al., 2008); blocos pré-coloridos (coloração na fase de pó microcristalino e posterior compactação dos blocos de material) (Shah et al., 2008); diminuição da espessura das estruturas (Baldissara et al., 2010); utilização de cerâmicas de “liner” para modificação da cor base da estrutura (Shah et al., 2008); escolha do material zircônia (Chen et al., 2008; Chang et al., 2009; Baldissara et al., 2010); controlo do tamanho do grão (Casolco et al., 2008; Ebeid et al., 2014) e técnica de recobrimento (Luo et al., 2010).

Com o desenvolvimento de variadas cerâmicas de zircônia com composição, técnicas de fabricação e técnicas de pigmentação diferentes torna-se útil determinar a sua influência na translucidez e cor final das restaurações (Panagiota et al., 2011).

3.1.2 Fatores que influenciam a translucidez e cor das restaurações

A translucidez e a cor das restaurações de cerâmica dependem de várias características da infraestrutura e da cerâmica de recobrimento (Heffernan et al., 2002) e estas têm sido definidas como altamente correlacionadas entre si (O'Brien, 1985; Ilie et al., 2008; Baldissara et al. 2010).

A translucidez ocorre quando um feixe de luz, ao atravessar o material, é parcialmente disperso, refletido e transmitido através do objeto. Quanto maior for a quantidade de luz que o atravessar maior será a sua translucidez. A translucidez está inversamente relacionada com a espessura das camadas de cerâmica a serem atravessadas pelo feixe de luz, pois quanto maior a espessura, maior será a absorção (dada pela lei de Lambert-Beer) e menor a transmissão,

sendo altamente influenciada pela dispersão da luz (Brodbelt et al., 1980). A dispersão da luz é provocada por diversos fatores, tais como o diferente índice de refração das várias fases dos materiais cerâmicos, a presença de bolhas de ar ou porosidades, elevada cristalinidade, tamanho e número dos cristais, especialmente quando o tamanho das partículas são ligeiramente maiores do que o comprimento de onda da luz incidente (Heffernan et al., 2002; Baldissara et al., 2010). A cerâmica de zircônia e a de alumina, devido à sua elevada fração cristalina, apresentam um efeito de dispersão de luz elevado. Por esta razão apresentam-se relativamente opacas no espectro do visível (Baldissara et al., 2010). Ainda assim a alumina apresenta uma translucidez relativamente elevada quando comparada com a zircônia (Heffernan et al., 2002), embora zircônias manipuladas com ciclos de sinterização mais longos e temperaturas mais elevadas aumentem a sua translucidez (Ebeid et al., 2014) que se aproxima da translucidez da alumina.

Vários fatores afetam a capacidade de um sistema de cerâmica para reproduzir de forma aceitável uma cor de uma escala (Douglas et al., 1999; Sahin et al., 2010). Tanto a infraestrutura como as cerâmicas de recobrimento podem afetar a cor das restaurações (Lee et al., 2007; Uludag et al., 2007; Chen et al., 2008). Para além da opacidade e cor da cerâmica, outros fatores que incluem as características das cerâmicas de cada fabricante (Seghi et al., 1986; O'Brien et al., 1991; Hammad et al., 1991; Sahin et al., 2010), o lote da cerâmica (O'Brien et al., 1991; Sahin et al., 2010), a técnica de condensação (O'Brien et al., 1991; Sahin et al., 2010), a temperatura de sinterização (Hammad et al., 1991; Sahin et al., 2010), a espessura das camadas (Barghi et al., 1982; Jacobs et al., 1987; Shokry et al., 2006; Antonson et al., 2001; Heffernan et al., 2002; Sahin et al., 2010) e o número de queimas de cerâmica (Jorgenson et al., 1979; Shokry et al., 2006; Sahin et al., 2010) podem também alterar a cor final das restaurações.

A cor final das restaurações estratificadas com diferentes cerâmicas e diferentes combinações de camadas de cerâmica é diferente em função do material da infraestrutura, mesmo quando a espessura final dos espécimes é padronizada a 1,5 mm (Lee et al., 2007; Sahin et al., 2010).

A pigmentação das estruturas cerâmicas de alta resistência poderá ser realizada pela coloração do pó de zircônia (Cales, 1998; Denry et al., 2008) ou

após a fresagem da restauração, nos sistemas em que a cerâmica é comercializada em blocos. Em ambos os casos, a pigmentação deverá ser feita sempre antes da sinterização final (Suttor et al., 2004; Denry et al., 2008). A coloração de zircônia pode ser conseguida através de técnicas de infiltração, submersão ou pintura com soluções de vários sais metálicos como cério, bismuto e ferro (Suttor et al., 2004; Denry et al., 2008). A concentração da solução influencia a cor final das infraestruturas, mas tem sido referido que reduzidas concentrações de pigmento, inferiores a 0,01 mol%, são suficientes para alcançar a coloração desejada (Denry et al., 2008). No entanto, variações nas soluções pigmentantes de óxidos metálicos, bem como na técnica de coloração utilizada podem afectar a translucidez (Cho et al., 2006). Após a aplicação das soluções pigmentantes, a cerâmica é sinterizada. O método utilizado para a sinterização, nomeadamente a temperatura de sinterização, também poderá influenciar o resultado final (Denry et al., 2008).

Numa coroa de cerâmica, quanto maior for a translucidez da estrutura, mais a cor das camadas mais internas do dente se evidencia. Assim, numa coroa suficientemente translúcida cimentada com um cimento incolor, a luz refletida contém a cor dominante da dentina do dente, criando um aspeto estético natural que se integra com os restantes dentes e tecidos (Baldissara et al., 2010). Os sistemas de cerâmica de alta-resistência tendem a ser mais opacos e criam maior dificuldade na tentativa de igualar a cor natural dos dentes, mas conseguem camuflar a descoloração da estrutura dentária quando ela existe (Spear et al., 2008; Ho-Nam et al., 2010). Se uma coroa é colocada num dente tratado endodonticamente ou sobre um núcleo fundido, a cor do preparo ou do falso coto pode resultar numa mudança de cor e num efeito de sombra nas zonas gengivais ou cervicais (Nakamura et al., 2002; Ho-Nam et al., 2010). Por essa razão, enquanto dentes sem descoloração permitem a utilização de cerâmicas mais translúcidas, os clínicos costumam optar por cerâmicas menos translúcidas sempre que pretendem camuflar cotos descolorados (Nakamura et al., 2002; Spear et al., 2008; Ho-Nam et al., 2010).

3.1.3 Influência do material de estrutura sobre a translucidez e cor da restauração.

Várias cerâmicas de estrutura têm demonstrado uma variedade de translucidez, que varia entre materiais muito translúcidos até materiais completamente opacos (Heffernan et al., 2002; Suputtamomgkol et al., 2013).

Num estudo recente (Liu et al., 2013), no qual foi estudada a translucidez de estruturas de zircónia Cercon (Dentsply, Degudent), Everest (Kavo), Lava (3M ESPE) com 0,5mm de espessura e Procera zircónia (Nobel Biocare) com 0,4mm de espessura, em comparação com estruturas de Procera alumina (Nobel Biocare) também de 0,4mm verificou-se menor translucidez das estruturas Cercon em relação às outras estruturas de zircónia, tendo-se verificado também que a alumina apresentou muito maior translucidez que todas as zircónias.

A importância da cor da estrutura na cor final da restauração e também a sua implicação clínica foi já estudada (Li et al., 2009; Stevenson et al., 2010), contudo a falta de normalização nos protocolos de medição de cor, a falta de informação sobre a consistência de cor entre os grupos nos vários estudos, a variação da espessura das estruturas, das camadas de cerâmica de recobrimento, do protocolo de queima e da cor em estudo, são aspetos que dificultam a comparação entre os trabalhos de investigação (Stevenson et al., 2010).

A influência do fundo nas restaurações com estrutura de zircónia foi também alvo de investigação. Num estudo *in vivo* (Suputtamomgkol et al., 2013) foram testadas coroas com estrutura de zircónia (ZENO®, Wieland Dental and Technik GmbH & Co, Germany, e IPS e.max Ceram, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) em dentes pré-molares e molares, cimentadas sobre cotos metálicos ou em compósitos. Foram feitas medições de cor com espectrofotómetro ShadeEye® (Shofu Inc., Kyoto, Japan) antes e depois de cimentação com cimento de cor neutra. Foram ainda feitos espécimes com estrutura de zircónia entre 0,4 e 1 mm de espessura com intervalos de 0,2 mm e revestidos com cerâmica até uma espessura final de $1,5 \pm 0,1$ mm para obter o índice de contraste das estruturas de zircónia após o recobrimento. Não foram encontradas diferenças entre os fundos de metal e compósito, contudo foram

registadas diferenças de cor entre as restaurações de 1,2-3,1 ΔE_{ab} entre os dois fundos que podem afectar as cores das restaurações.

3.2 OBJETIVOS

Este estudo pretendeu avaliar a influência de diferentes infraestruturas para restaurações unitárias [NPALU; NPZRW; NPZRC; Ice Transluzent Zirkon branca (ZZRTW); Ice Translucent Zirkon pigmentada (ZZRTC); Prettau Zirkon branca (ZZRPW) e Prettau Zirkon pigmentada (ZZRPC)] na transmissão direta de luz de restaurações estratificadas por técnica convencional e na diferença de cor das mesmas restaurações sobre diferentes fundos (liga CoCr-polido; liga CoCr-jateado; liga Au-polida; liga Au-jateada; compósito; dentina; titânio e zircónia). Formularam-se os seguintes objetivos com as respetivas hipóteses experimentais:

1- Analisar a influência do material de infraestrutura na transmissão direta de luz das restaurações.

H0: O material de infraestrutura não influencia na transmissão de luz .

H1: O material de infraestrutura influencia na transmissão de luz.

2- Analisar se existe influência da aplicação de cerâmica de recobrimento na transmissão direta de luz das restaurações.

H0: A cerâmica de recobrimento não influencia a transmissão de luz .

H1: A cerâmica de recobrimento influencia a transmissão de luz.

3- Analisar se existe influência da infraestrutura na diferença de cor das restaurações.

H0: A infraestrutura não influencia a diferença de cor das restaurações .

H1: A infraestrutura influencia a diferença de cor das restaurações.

4- Analisar se existe influência da aplicação de cerâmica de recobrimento na diferença de cor das restaurações.

H0: A cerâmica de recobrimento não influencia a cor da restaurações.

H1: A cerâmica de recobrimento influencia a cor das restaurações.

5- Analisar se existe influência do fundo na diferença de cor das restaurações.

H0: O fundo não influencia a diferença de cor das restaurações .

H1: O fundo influencia a diferença de cor das restaurações.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo por base um estudo piloto, a dimensão da amostra (n=5) foi estimada com uma análise de potência de 80% de forma a garantir significância estatística ($\alpha = 0,05$).

Foram obtidos discos de cerâmica de 12 mm de diâmetro e 0,4 mm de espessura, de forma idêntica ao descrito no estudo anterior (Secção 2). Foram testados sete materiais de infraestrutura de três tipos diferentes: alumina (NPALU); zircónia branca (NPZRW, ZZRTW e ZZRPW) e zircónia colorida (NPZRC, ZZRTC e ZZRPC na coloração D3) (Fig. 3.1).

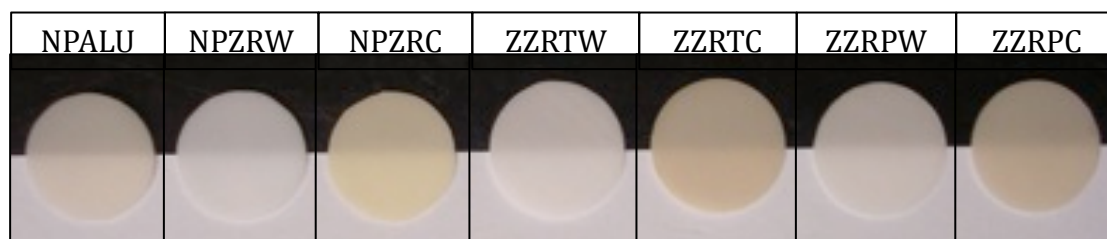


Figura 3. 1 - Materiais de infraestrutura utilizados.

Os espécimes foram previamente calibrados relativamente à dimensão e espessura pré-estabelecida para o estudo. Os grupos experimentais são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3. 1 - Grupos experimentais.

| | | | | | | |
|--------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Alumina | Zirconia Branca | Zirconia Colorida | Zircónia Translucida Branca | Zircónia Translucida Colorida | Zircónia Prettau Branca | Zircónia Prettau Colorida |
| NobelProcera | NobelProcera | NobelProcera | Zirkonzahn | Zirkonzahn | Zirkonzahn | Zirkonzahn |
| NPALU | NPZRW | NPZRC | ZZRTW | ZZRTC | ZZRPW | ZZRPC |

3.3.1 Manipulação dos espécimes

3.3.1.1 Preparação inicial

Os espécimes produzidos industrialmente pela Nobel Biocare foram entregues na sua forma final pelo fabricante e foram manipulados de acordo com o já descrito no capítulo 2.3.1.1.

Os espécimes dos materiais da marca Zirkonzahn foram produzidos a partir de blocos cilíndricos de 95 mm de diâmetro e 18 mm de altura fornecidos pelo fabricante, tendo sido desenhados, fresados, pigmentados e sinterizados pelo laboratório de referencia da marca em Portugal (Dental Réplica, Lisboa, Portugal).

No formato dos blocos originais foram desenhados, no software do sistema Zirkonzahn, vários cilindros menores com as dimensões de 18 mm de altura e 14,4 mm de diâmetro e fresados a partir de discos de material ICE Zirkon Transluzent (Ref: ZRAB8041; Lote: ZB2211G) e Prettau Zirkon (Ref: ZRAD8041; Lote: ZB2112C) no sistema CAD-CAM 5-TEC Zirkonzahn (Fig. 3.2).



Figura 3.2 – Blocos Zirkonzahn utilizados para fresar cilindros.

Este sistema é do tipo “Inlab”, composto por uma máquina CAM de bancada. A altura dos cilindros fresados permitiu obter 15 discos de 0,5 mm de espessura (Fig. 3.3). O diâmetro e a espessura de corte de cada disco foram calculados com base na percentagem de contração da zircónia indicada pelo fabricante (20,00% e 20,05% em diâmetro, respetivamente para Zirkon Translucent e para Prettau Zirkon, e 25% em espessura para ambas) para obter discos de ≈ 12 mm de diâmetro e $\approx 0,4$ mm de espessura.



Figura 3.3 – Cilindro e discos de material Zirkonzahn.

Para a laminação do cilindro, utilizou-se uma serra de precisão (Isomet 1000 – Buehler). O corte dos discos, com espessura de 0,5 mm, foi feito sob refrigeração com água com disco diamantado de 0,6 mm de espessura, com um avanço de 1,1 mm. A calibração dos espécimes foi feita com espessímetro digital (Mitutoyo, Japan) (Fig. 3.4).

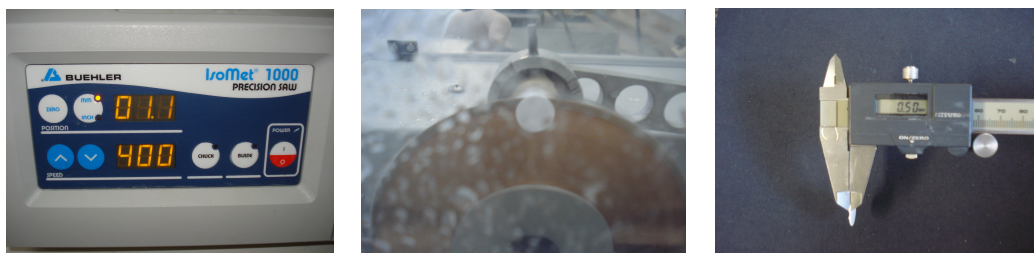


Figura 3. 4 - Laminação e calibração dos espécimes de material Zirkonzahn.

A pigmentação correspondente à cor D3 de modo a obter espécimes de zircónia translúcida colorida e zircónia prettau colorida, e a sinterização final dos espécimes foi feita pelo laboratório comercial anteriormente referido, utilizando os protocolos de infiltração e de temperatura de sinterização recomendados pelo fabricante. A pigmentação dos espécimes da Zirkonzahn foi feita na fase de pré-sinterização, por infiltração de solução ácida nos espécimes de zircónia branca. Posteriormente, os discos de zircónia Ice Transluzent foram sinterizados a 1500°C e os de zircónia Prettau a 1600°C, em ambos os casos com incremento de 8°C/min e manutenção à temperatura final durante 120 minutos.

Os espécimes foram numerados dentro de cada grupo para permitir comparar os resultados obtidos em vários momentos em cada espécime.

3.3.1.2 Técnicas de recobrimento

Para cada um dos materiais de infraestrutura foram produzidos espécimes com técnica de estratificação, segundo o protocolo já descrito na secção 2.3.1.2.1 do capítulo 2. Foram utilizados os mesmos lotes de cerâmica de recobrimento NobelRondo, tendo sido utilizado o sistema NobelRondo alumina e o sistema NobelRondo zircónia ajustados aos coeficientes de expansão térmica para o recobrimento respectivamente de infraestruturas de alumina e de zircónia.

A espessura das camadas de cerâmica, a espessura final do espécime e a cor utilizada foram as mesmas utilizadas no estudo do ponto 2, já descritas na secção 2.3.1.2.

3.3.2 Espectrofotometria de transmissão/reflexão

A espectrofotometria de transmissão foi efetuada por transmissão direta parcial e os ensaios de espectrofotometria de reflexão foram efetuados por medição da quantidade de energia luminosa refletida pelo objeto sobre um fundo de forma análoga ao estudo do ponto 2, respeitando os procedimentos já descritos respetivamente nas secções 2.3.2 e 2.3.3. Utilizaram-se os mesmos acessórios de leitura e também os mesmos fundos (liga CoCr-polido; liga CoCr-jateado; liga Au-Pt-Ag-polida; liga Au-Pt-Ag-jateada; compósito; dentina; titânio e zircónia). Tal como no estudo do ponto 2, as leituras foram realizadas num momento inicial do fabrico dos espécimes, apenas com a infraestrutura, e no final, após a aplicação do glaze.

3.3.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram inseridos numa base de dados e analisados estatisticamente com uma aplicação informática comercial - SPSS para MAC, versão 21.0 (SPSS Ins, Chicago, IL, EUA).

Os dados de transmitância (%T) e de diferença de cor (ΔE^*) obtida a partir de dados CIELCh* começaram por ser analisados com estatística descritiva.

Após se ter verificado, através do teste de Kolmogorov-Smirnov, o não cumprimento da normalidade de distribuição da amostra ($p < 0,05$), foram utilizados testes estatísticos não paramétricos para a análise inferencial dos dados de transmitância e ΔE obtidos no momento de infraestrutura e após a aplicação do “glaze”.

Foram utilizados testes de medições repetidas segundo Wilcoxon, para verificar a existência de diferenças entre estas duas etapas de processamento dos espécimes.

A influência do tipo de material de infraestrutura foi avaliada recorrendo a testes não paramétricos segundo o método de Kruskal-Wallis, seguidos de comparações múltiplas de Mann-Whitney com correção de Bonferroni.

A influencia do fundo sobre a cor obtida para cada material de estrutura foi analisada com testes não paramétricos para medições repetidas, ANOVA de duas vias às ordens segundo Friedman.

Para todos os testes estatísticos foi fixada uma significância estatística de 5% ($\alpha=0,05$).

3.4- RESULTADOS

3.4.1 Espectrofotometria de transmissão

Os valores médios e o desvio padrão de %T no intervalo do espectro do visível considerado (380-800 nm), bem como a diferença entre as duas etapas encontram-se descritos na tabela 3.2. Na figura 3.5 encontra-se representada a distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo de material de alta resistência em cada etapa de aplicação de cerâmica e também a sua diferença percentual .

Tabela 3. 2 - Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão de cada grupo em cada etapa, bem como a diferença em % entre as duas etapas (n=5).

| Material | Grupo | Estrutura Média (DP) | "Glaze" Média (DP) | % Diminuição Estrutura/"Glaze" |
|----------------------|-------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Alumina | NPALU | 1,40 (0,215) | 0,36(0,015) | 74% |
| Zircónia branca | NPZRW | 0,71 (0,007) | 0,21 (0,004) | 70% |
| | ZZRTW | 0,76 (0,004) | 0,20 (0,021) | 72% |
| | ZZRPW | 0,77 (0,033) | 0,19 (0,009) | 75% |
| Zircónia colorida | NPZRC | 0,60 (0,056) | 0,19 (0,007) | 68% |
| | ZZRTC | 0,51 (0,014) | 0,16 (0,008) | 68% |
| | ZZRPC | 0,69 (0,024) | 0,22 (0,014) | 68% |

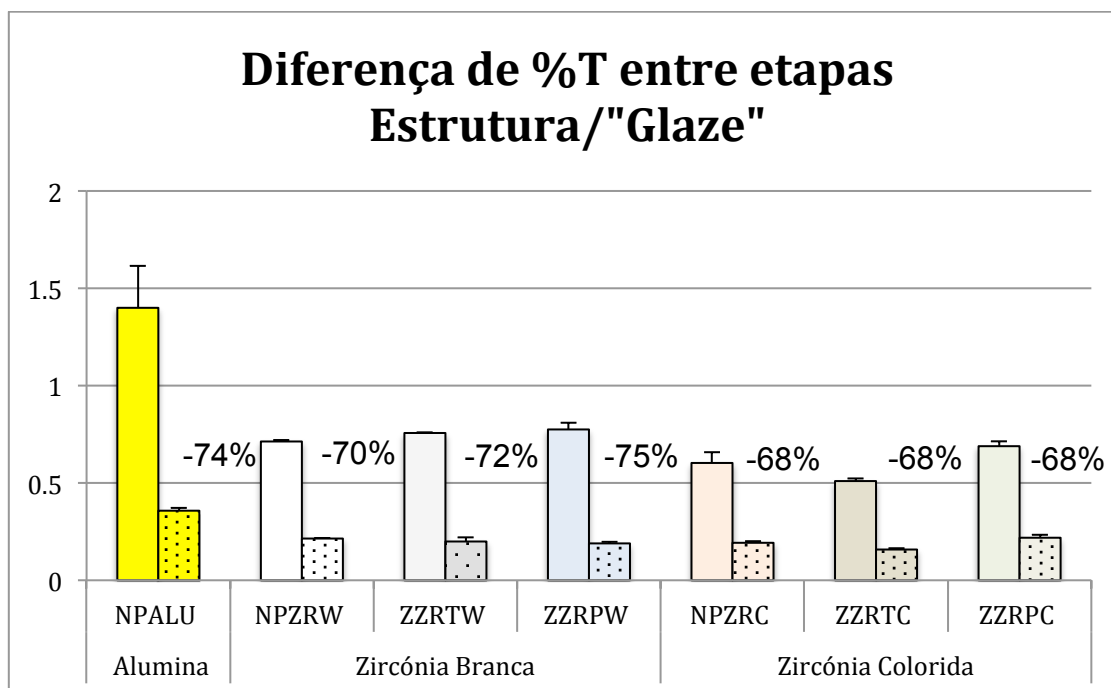


Figura 3. 5 - Distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo em cada etapa de aplicação de cerâmica e da sua diferença percentual.

A %T diminui para todos os materiais de estrutura após a aplicação de cerâmica de recobrimento, tendo-se verificado uma diminuição semelhante (68%) em todas as zircónias coloridas (ZZRTC de 0,51 para 0,16; NPZRC de 0,6 para 0,19 e ZZRPC de 0,69 para 0,22). Entre as zircónias brancas a diminuição não foi constante, tendo-se registado uma diminuição de 70% em NPZRW (de 0,71 para 0,21), 72% em ZZRTW (de 0,76 para 0,20) e de 75% em ZZRPW (de 0,77 para 0,19). Este último material registou uma maior diminuição do que NPALU, que registou uma diminuição de 74% (de 1,4 para 0,36) (Figura 3.5).

A análise estatística inferencial revelou que as diferenças de transmitância entre a fase inicial, só com a infraestrutura, e a fase final de construção do espécime, após o "glaze", eram estatisticamente significativas ($p < 0,001$).

A %T foi também significativamente ($p < 0,001$) influenciada pelo tipo de material de infraestrutura utilizado, tanto na fase de estrutura como após a aplicação do "glaze".

Na fase inicial, o material ZZRTC apresentou menor transmitância que os materiais ZZRTW ($p=0,035$), ZZRPW ($p=0,007$) e NPALU ($p<0,001$). O material NPZRC apresentou também menor transmitância que o material NPALU ($p=0,002$). Não se verificaram mais diferenças com significado estatístico ($p>0,05$) nas restantes comparações entre grupos, para este momento inicial (Figura 3.6).

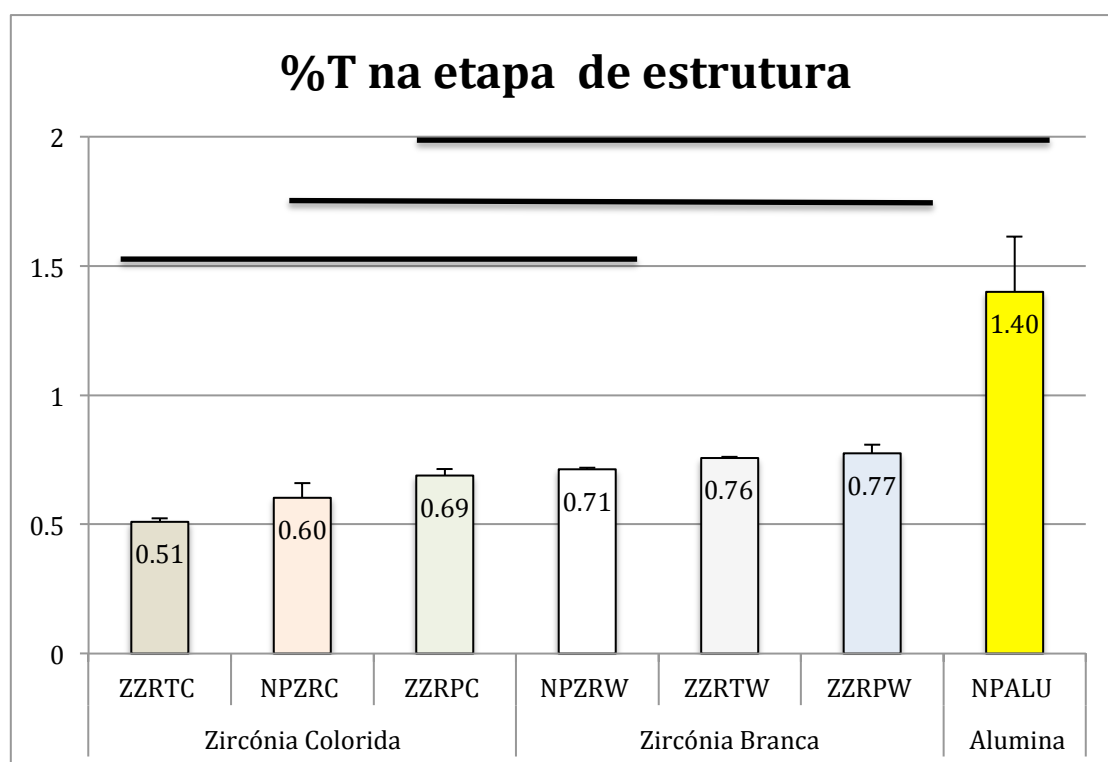


Figura 3. 6 - Distribuição dos valores de % T dos materiais de infraestrutura (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Após o “glaze”, o material ZZRTC apresentou menor transmitância que os materiais NPZRW ($p=0,031$), NPALU ($p<0,001$) e ZZRPC ($p=0,016$). Por outro lado, o material ZZRPW apresentou também menor transmitância que o material NPALU ($p=0,025$). Não se verificaram mais diferenças nas restantes comparações entre grupos ($p>0,05$) (Figura 3.7).

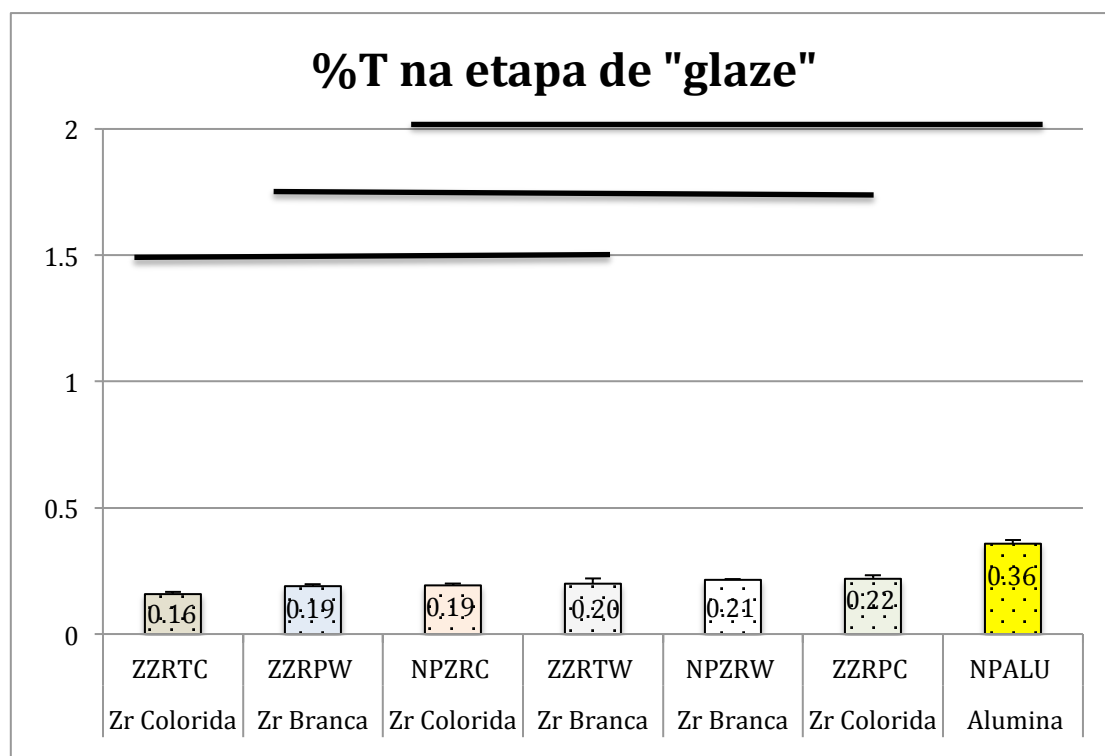


Figura 3. 7 - Distribuição dos valores de % T dos materiais de infraestrutura após o “glaze” (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

A figura 3.8 mostra as diferenças observáveis nas curvas espectrais obtidas com os espécimes de cada grupo que apresentaram o valor médio de %T mais próximo da média do grupo.

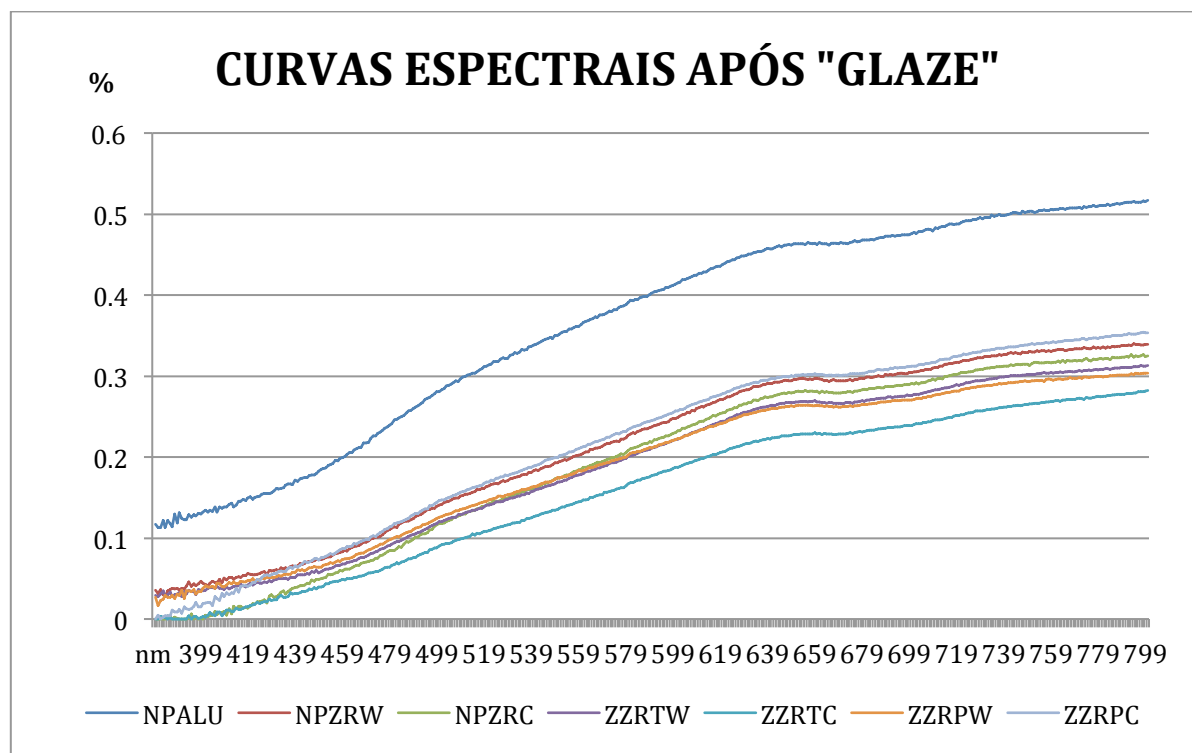


Figura 3. 8 - Curvas espectrais após "Glaze", de todos os materiais de estrutura, obtidas com o espécime com valor de %T mais aproximado à média do grupo.

3.4.2 Espectrofotometria de reflexão

Os valores médios e o desvio padrão de ΔE^* de cada grupo em cada fundo, nas etapas de estrutura e de "glaze" encontram-se descritos respetivamente nas tabelas 3.3 e 3.4.

Tabela 3. 3 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de estrutura (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$).

| Valores de ΔE^* na etapa estrutura | | | | | | | | | |
|--|-------|--------------|---------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Material | Fundo | Co-Cr Polido | Co-Cr Jateado | Ag-Au-Pt Polido | Ag-Au-Pt Jateado | Compósito | Dentina | Titânio | Zircónia |
| | | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) |
| Alumina | NPALU | 6,8 (1,33) | 13,3 (0,87) | 3,4 (0,96) | 8,9 (1,24) | 6,1 (2,20) | 3,4 (0,59) | 9,4 (1,18) | 11,8 (0,94) |
| Zircónia branca | NPZRW | 16,5 (0,64) | 19,1 (0,38) | 12,1 (0,85) | 16,6 (0,68) | 16,1 (0,49) | 10,5 (0,79) | 17,9 (0,25) | 19,7 (0,60) |
| | ZZRTW | 15,2 (0,50) | 17,2 (0,31) | 9,7 (0,55) | 13,4 (0,44) | 15,6 (0,28) | 13,3 (0,47) | 16,1 (0,31) | 17,6 (1,40) |
| | ZZRPW | 14,1 (1,44) | 15,2 (0,56) | 9,4 (1,78) | 11,3 (0,55) | 14,4 (0,19) | 11,5 (0,16) | 14,4 (0,15) | 18,1 (0,34) |
| Zircónia colorida | NPZRC | 8,7 (1,07) | 14,5 (0,64) | 5,0 (0,65) | 11,4 (0,86) | 10,3 (0,30) | 8,3 (0,66) | 11,8 (0,88) | 9,4 (0,91) |
| | ZZRTC | 11,2 (1,39) | 15,2 (1,14) | 8,5 (1,07) | 12,9 (1,05) | 12,6 (0,47) | 13,4 (0,96) | 13,7 (1,15) | 8,0 (1,08) |
| | ZZRPC | 9,5 (0,61) | 13,2 (0,47) | 5,1 (0,36) | 8,8 (0,45) | 11,3 (0,50) | 7,9 (0,37) | 11,3 (0,56) | 10,2 (0,85) |

Tabela 3. 4 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$)

| Valores de ΔE^* na etapa de “glaze” | | | | | | | | | |
|---|-------|--------------|---------------|-----------------|------------------|------------|------------|------------|------------|
| Material | Fundo | Co-Cr Polido | Co-Cr Jateado | Ag-Au-Pt Polido | Ag-Au-Pt Jateado | Compósito | Dentina | Titânio | Zircónia |
| | | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) |
| Alumina | NPALU | 1,5 (0,54) | 2,4 (0,37) | 0,5 (0,13) | 1,4 (0,43) | 2,8 (0,65) | 2,5 (0,76) | 1,9 (0,56) | 1,1 (0,36) |
| Zircónia branca | NPZRW | 1,1 (0,46) | 0,5 (0,08) | 1,5 (0,29) | 0,9 (0,54) | 0,9 (0,40) | 0,8 (0,19) | 0,7 (0,25) | 1,5 (0,33) |
| | ZZRTW | 2,5 (0,36) | 2,0 (0,36) | 2,3 (0,56) | 2,4 (0,41) | 2,2 (0,34) | 2,2 (0,57) | 2,3 (0,56) | 2,4 (0,41) |
| | ZZRPW | 3,5 (1,57) | 3,5 (1,66) | 3,5 (1,78) | 3,4 (1,77) | 3,6 (1,62) | 3,5 (1,81) | 3,5 (1,76) | 3,4 (1,66) |
| Zircónia colorida | NPZRC | 1,2 (0,52) | 0,8 (0,22) | 1,6 (0,18) | 1,2 (0,09) | 1,1 (0,19) | 1,1 (0,16) | 1,0 (0,14) | 1,5 (0,11) |
| | ZZRTC | 3,3 (2,20) | 3,3 (1,97) | 3,3 (2,03) | 3,4 (1,96) | 3,1 (2,04) | 3,2 (2,10) | 3,2 (1,97) | 3,5 (1,68) |
| | ZZRPC | 2,3 (1,05) | 2,4 (0,79) | 2,3 (1,40) | 2,2 (0,83) | 2,5 (0,86) | 2,2 (0,94) | 2,4 (0,86) | 2,3 (0,68) |

Os valores de ΔE^* registados para os espécimes de zircónia na etapa de estrutura ficaram todos muito acima do limite de aceitabilidade clínica ($\Delta E^* > 3,7$). Contudo, a alumina registou valores ΔE^* mais próximos do limite de aceitabilidade clínica, em todos os fundos. Inclusivamente, com os fundo Ag-Au-Pt polido e dentina, a alumina apresentou um $\Delta E^* < 3,7$ (Figura 3.9).

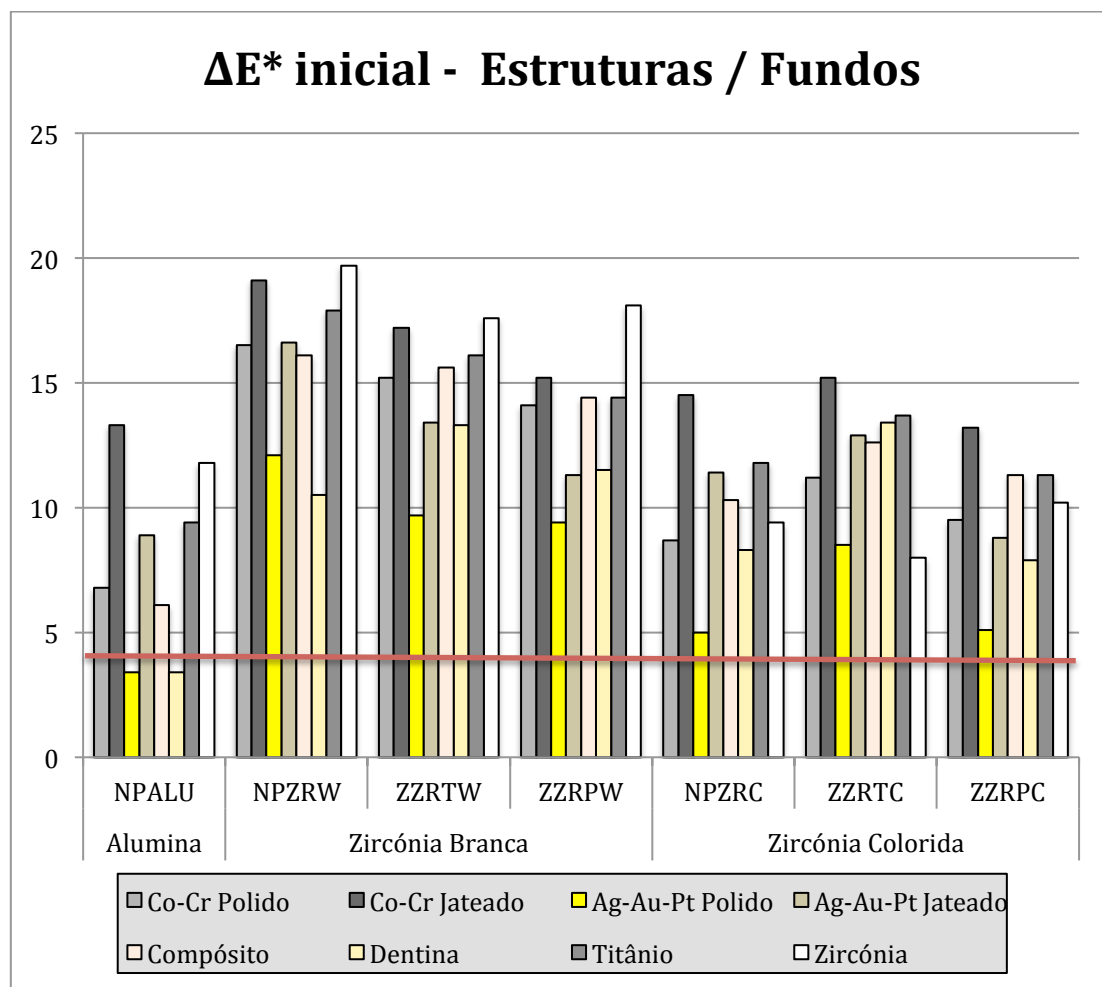


Figura 3. 9 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura na etapa estrutura, sobre oito fundos. (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica).

Na fase final da construção do espécime, isto é, após a aplicação do “glaze”, em todos os grupos experimentais, observaram-se valores médios de $\Delta E^* < 3,7$, ou seja, dentro do limite de aceitabilidade clínica (Figura 3.10). Além

disso, o material NPZRW apresentou valores de $\Delta E^* < 1,6$ para todos os fundos. Nos grupos de material NPZRC, e NPALU apenas se observaram valores de $\Delta E < 1,6$ para alguns dos fundos. Por fim, os materiais ZZRTW, ZZRPW, ZZRTC e ZZRPC apresentaram valores médios de ΔE^* entre 1,6 e 3,7 com todos os fundos, ou seja alterações perceptíveis mas aceitáveis do ponto de vista clínico.

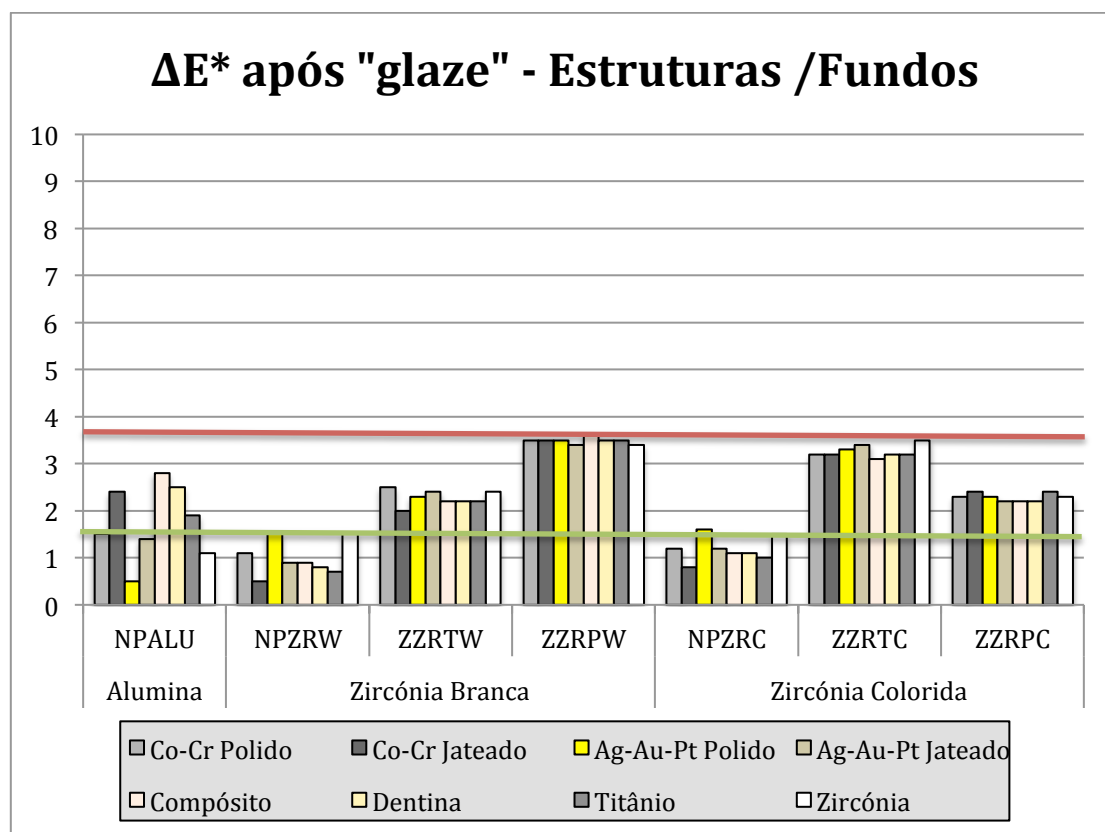


Figura 3. 10 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura após etapa de "glaze", sobre oito fundos (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica e linha verde limite de percepção).

Na comparação entre os valores de ΔE^* obtidos apenas com as infraestruturas com os obtidos após a aplicação do "glaze" verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$). Os valores de ΔE diminuíram da fase de estrutura para a fase de "glaze", com todos os fundos (Figura 3.11).

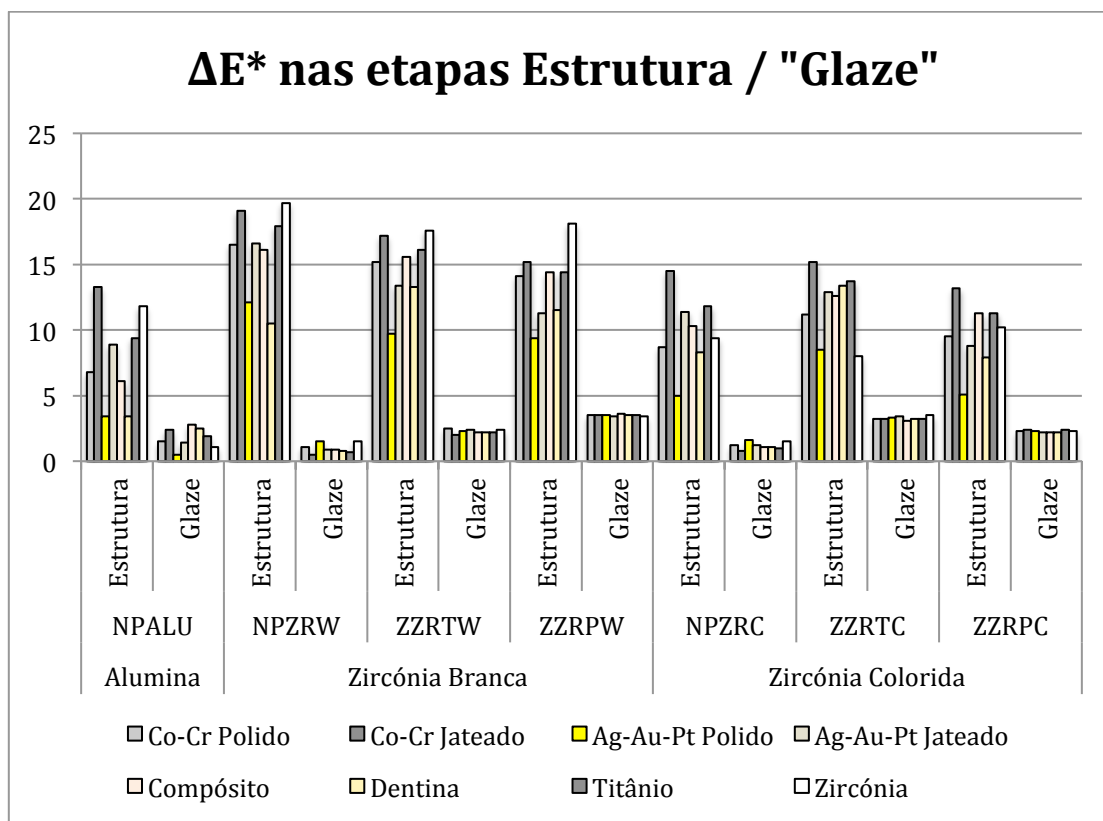


Figura 3. 11 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de infraestrutura nas etapas de estrutura e de "glaze", sobre oito fundos.

O teste estatístico segundo Kruskal-Wallis permitiu observar que o ΔE^* foi influenciado de forma estatisticamente significativa ($p < 0,001$) pelos materiais da estrutura, com todos os fundos, nos dois momentos de leitura analisados (estrutura - $p < 0,001$; "glaze" - $p < 0,01$).

Nas comparações múltiplas realizadas entre as medições obtidas nos diversos grupos experimentais na fase inicial, só com a infraestrutura, verificaram-se as seguintes diferenças estatisticamente significativas:

- para o fundo Co-Cr polido: NPALU vs. ZZRTW ($p=0,004$), NPALU vs. NPZRW ($p<0,001$), NPZRC vs. NPZRW ($p=0,003$) e ZZRPC vs. NPZRW ($p=0,040$) (Figura 3.12);

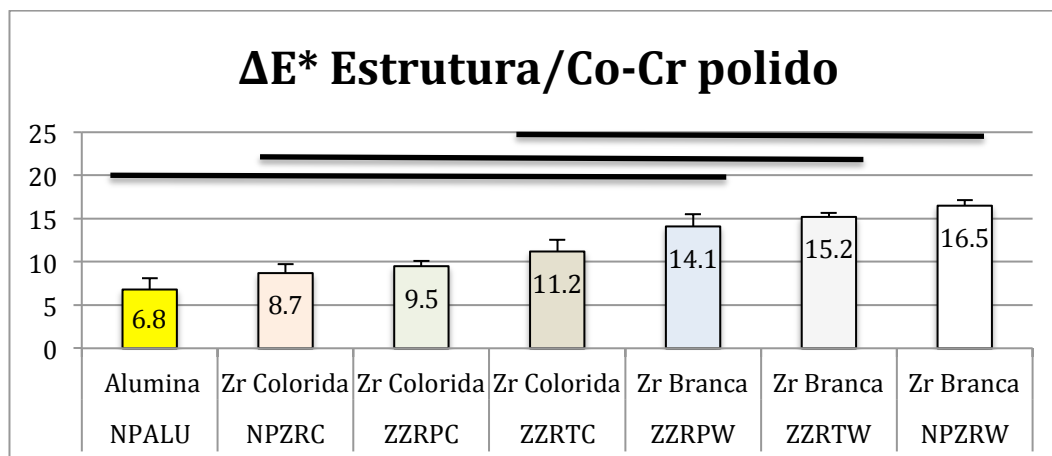


Figura 3. 12- Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Co-Cr polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo Co-Cr jateado: ZZRPC vs. ZZRTW ($p=0,013$), ZZRPC vs. NPZRW ($p=0,001$), NPALU vs. ZZRTW ($p=0,020$) e NPALU vs. NPZRW ($p=0,001$) (Figura 3.13);

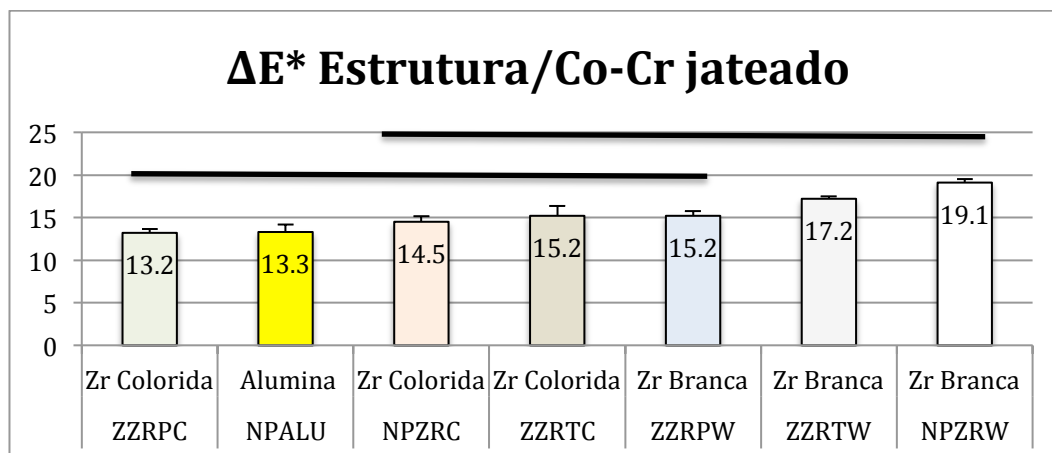


Figura 3. 13 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Co-Cr jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo Ag-Au-Pt polido: NPALU vs. ZZRPW ($p=0,042$), NPALU vs. ZZRTW ($p=0,010$), NPALU vs. NPZRW ($p<0,001$), NPZRC vs. NPZRW ($p=0,006$) e ZZRPC vs. NPZRW ($p=0,016$) (Figura 3.14);

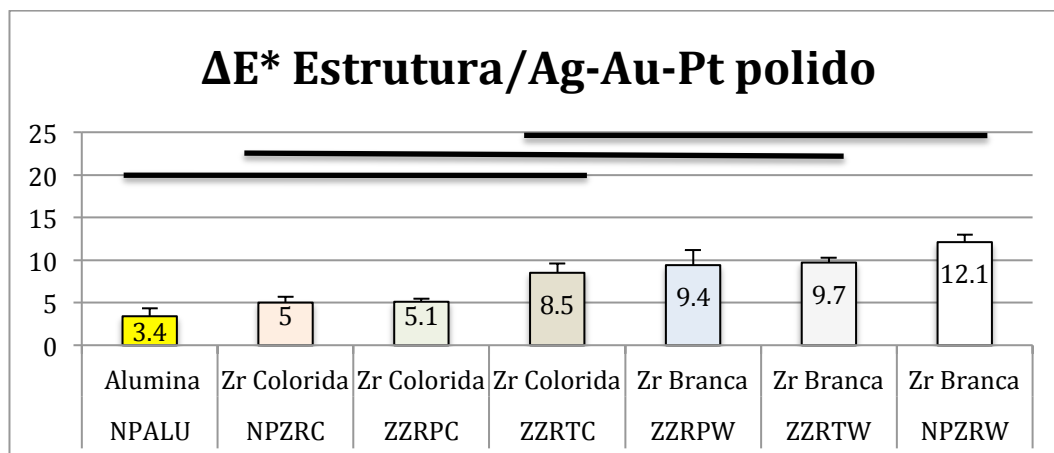


Figura 3. 14 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Ag-Au-Pt polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo Ag-Au-Pt jateado: ZZRPC vs. ZZRTW ($p=0,025$), ZZRPC vs. NPZRW ($p<0,001$), NPALU vs. ZZRTW ($p=0,028$) e NPALU vs. NPZRW ($p=0,001$) (Figura 3.15);

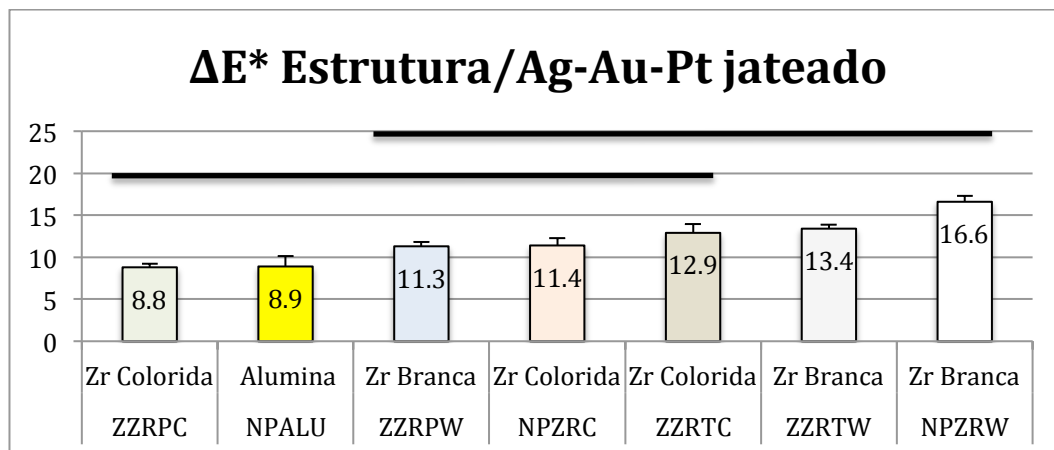


Figura 3. 15 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Ag-Au-Pt jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo compósito: NPALU vs. ZZRPW ($p=0,042$), NPALU vs. ZZRTW ($p=0,001$), NPALU vs. NPZRW ($p<0,001$), NPZRC vs. ZZRTW ($p=0,028$) e NPRC vs. NPZRW ($p=0,004$) (Figura 3.16);

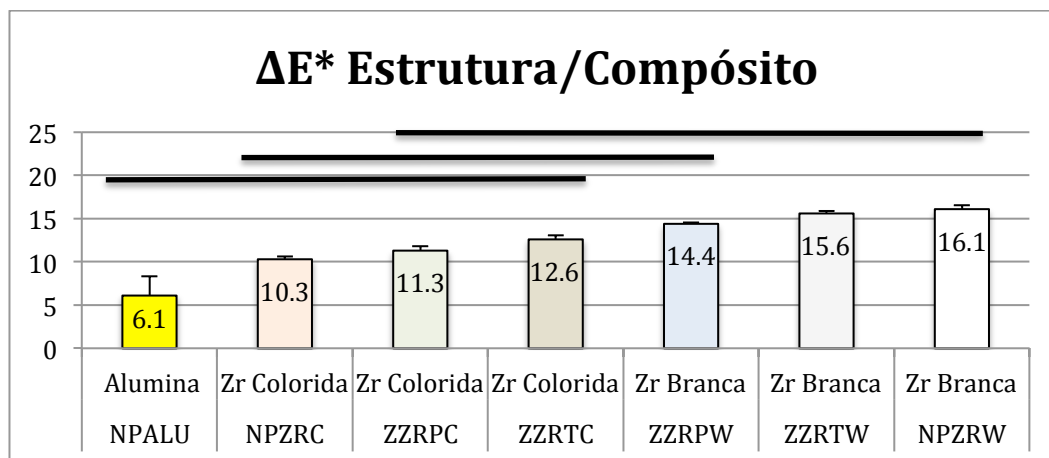


Figura 3. 16 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Compósito (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo dentina: NPALU vs. ZZRPW ($p=0,045$), NPALU vs. ZZRTW ($p=0,001$), NPALU vs. ZZRTC ($p<0,001$), ZZRPC vs. ZZRTW ($p=0,036$) e ZZRPC vs. ZZRTC ($p=0,017$) (Figura 3.17);

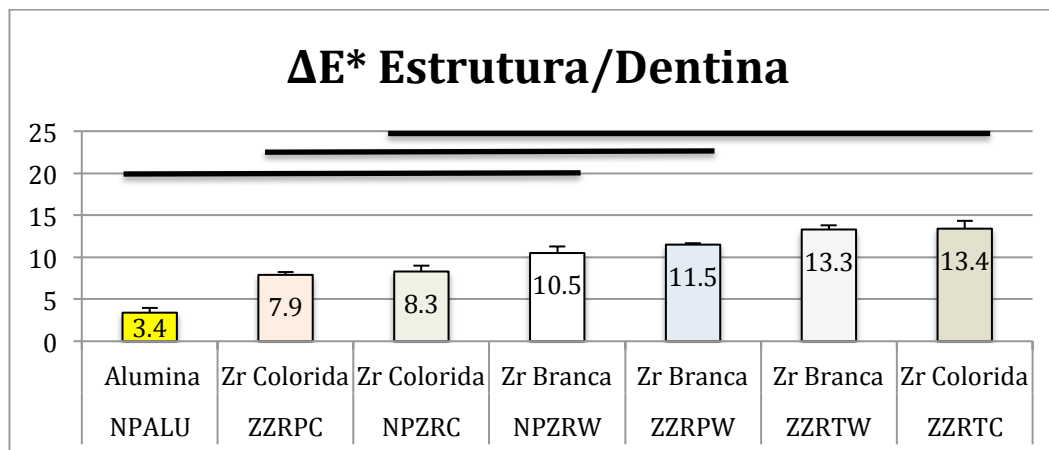


Figura 3. 17 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo dentina (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo titânio: NPALU vs. ZZRTW ($p=0,004$), NPALU vs. NPZRW ($p<0,001$), ZZRPC vs. ZZRTW ($p=0,004$) e ZZRPC vs. NPZRW ($p=0,022$) (Figura 3.18)

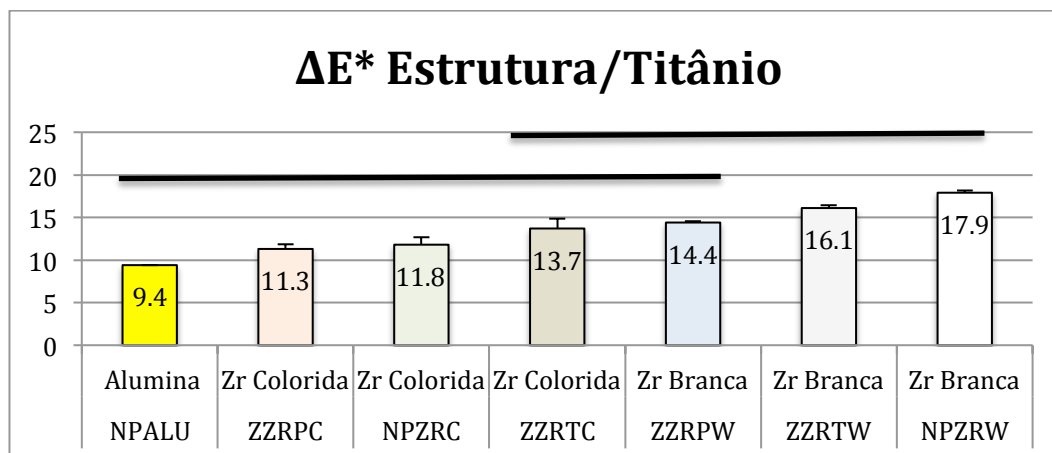


Figura 3. 18 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo titânio (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- finalmente para o fundo zircónia: ZZRTC vs. ZZRTW ($p=0,025$), ZZRTC vs. ZZRPW ($p=0,016$), ZZRTC vs. NPZRW ($p<0,001$), NPZRC vs. NPZRW ($p=0,003$) e ZZRPC vs. NPZRW ($p=0,025$) (Figura 3.19);

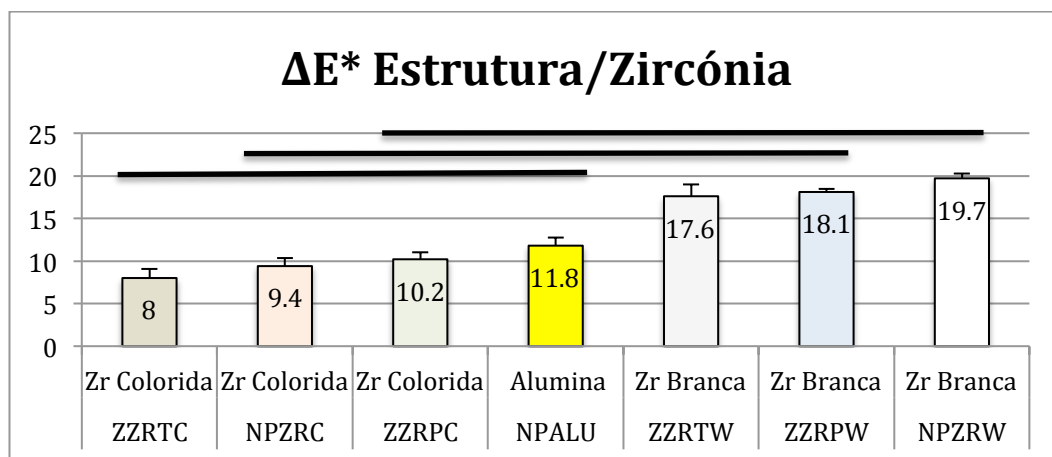


Figura 3. 19 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo zircónia (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Em resumo, verificou-se que só não existiram diferenças significativas entre NPALU e NPZRW no fundo zircónia. Também ZZRPC e NPZRC apresentaram diferenças significativas com NPZRW na maior parte dos fundos. O outro material de estrutura colorido (ZZRTC) só apresentou diferença estatisticamente significativa com NPZRW no fundo zircónia, tendo apresentado também diferenças com NPALU e ZZRPC no fundo dentina. Entre as zircónias brancas, ZZRTW apresentou um comportamento idêntico ao de NPZRW, apresentando também diferenças com NPALU em todos os fundos com exceção do fundo zircónia, diferença para NPZRC no fundo compósito, para ZZRTC no fundo zircónia e finalmente para ZZRPC no fundo Ag-Au-Pt Jateado. A zircónia branca ZZRPW só apresentou diferenças significativas com NPALU no fundo Ag-Au-Pt Polido e compósito.

Nas comparações múltiplas entre os materiais de estrutura, após o glaze, verificaram-se as seguintes diferenças estatisticamente significativas:

- para o fundo Co-Cr polido: NPZRW vs. ZZRPW ($p=0,026$) (Figura 3.20);

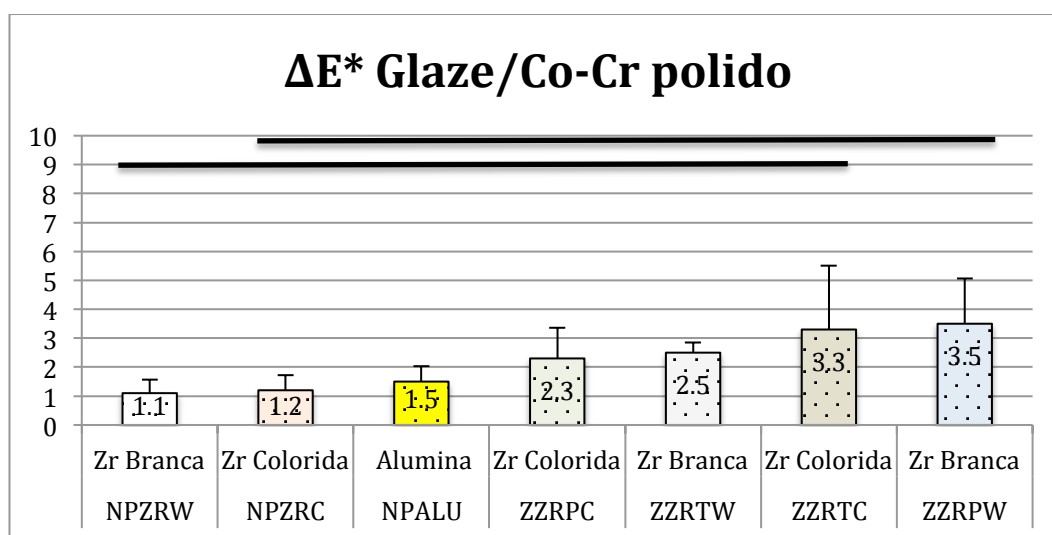


Figura 3. 20 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo Co-Cr polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo Co-Cr Jateado: NPZRW vs. NPALU ($p=0,046$), NPZRW vs. ZZRTC ($p=0,027$), NPZRW vs. ZZRPW ($p=0,006$) e NPZRC vs. ZZRPW ($p=0,049$) (Figura 3.21);

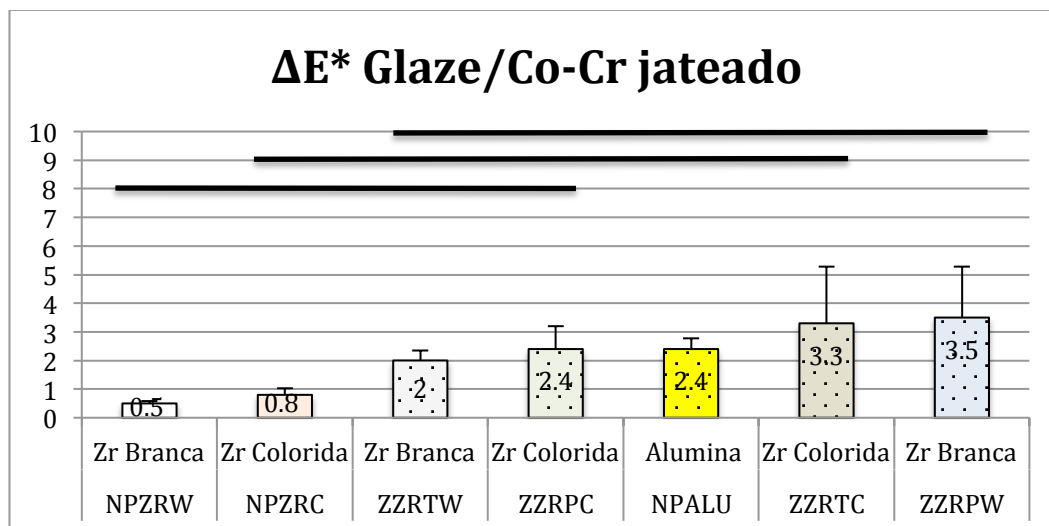


Figura 3. 21 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após "glaze" para o fundo Co-Cr jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo Ag-Au-Pt polido: NPALU vs. ZZRTC ($p=0,025$) e NPALU vs. ZZRPW ($p=0,003$) (Figura 3.22);

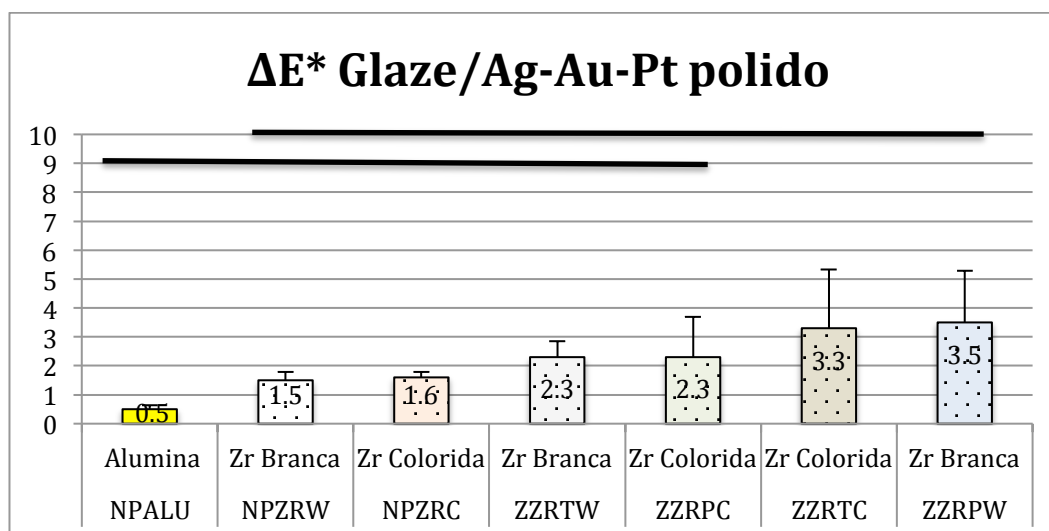


Figura 3. 22 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após "glaze" para o fundo Ag-Au-Pt polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo Ag-Au-Pt jateado: NPZRW vs. ZZRTC (p=0,029) e NPZRW vs. ZZRPW (p=0,021) (Figura 3.23);

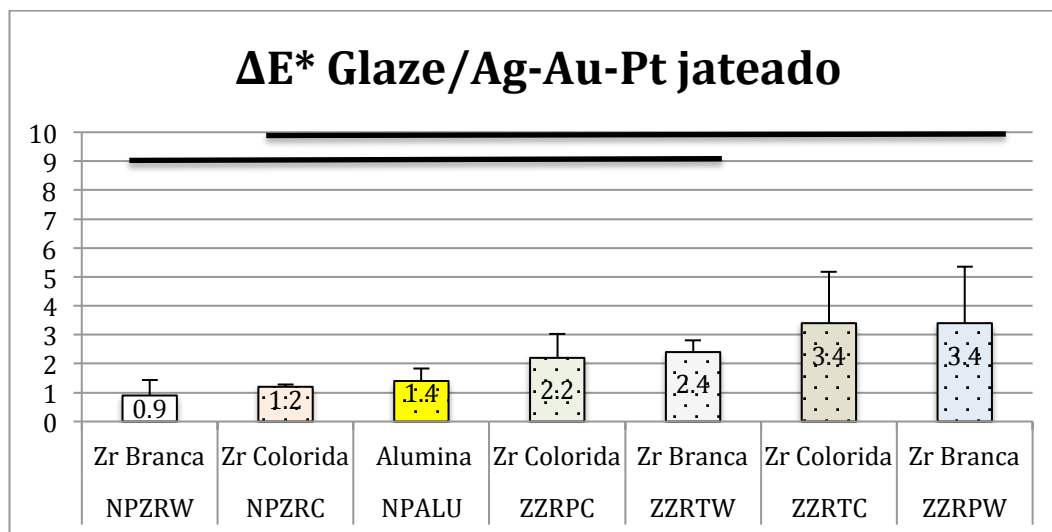


Figura 3. 23 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após "glaze" para o fundo Ag-Au-Pt jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo compósito: NPZRW vs. ZZRPW (p=0,019) e NPZRC vs. ZZRPW (p=0,044) (Figura 3.24);

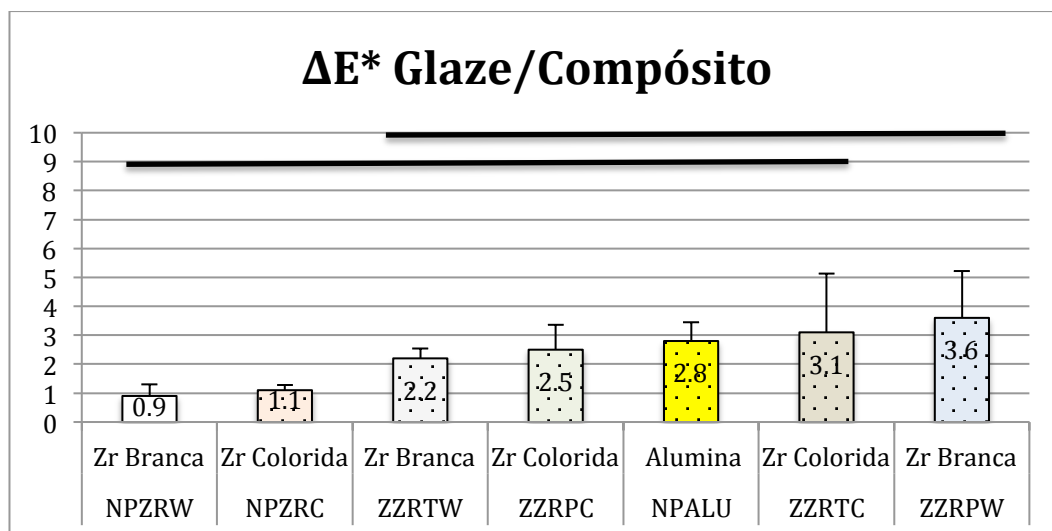


Figura 3. 24 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após "glaze" para o fundo compósito (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo dentina: NPZRW vs. NPALU ($p=0,047$), NPZRW vs. ZZRTC ($p=0,044$) e NPZRW vs. ZZRPW ($p=0,007$) (Figura 3.25);

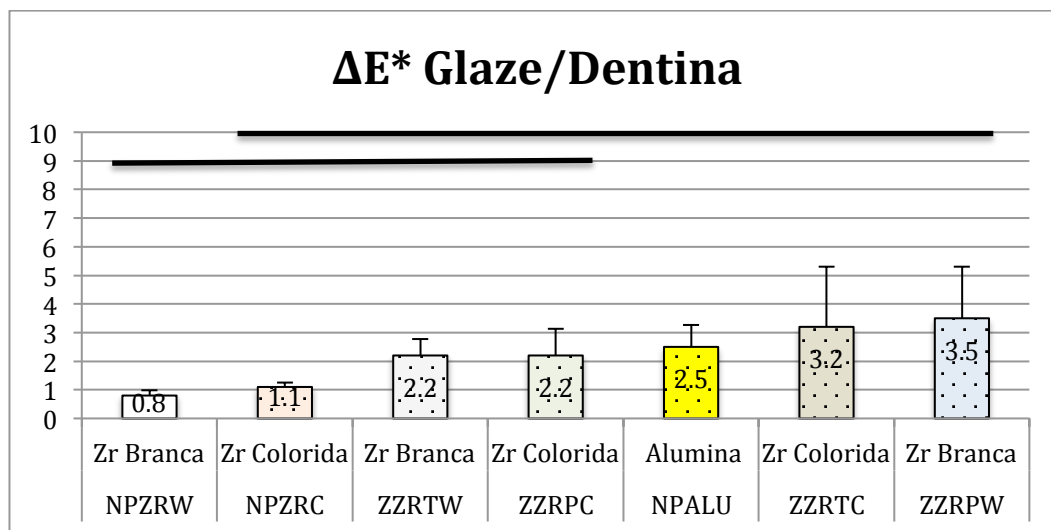


Figura 3. 25 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após "glaze" para o fundo dentina (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo titânio: NPZRW vs. ZZRPW ($p=0,005$) e NPZRC vs. ZZRPW ($p=0,044$) (Figura 3.26);

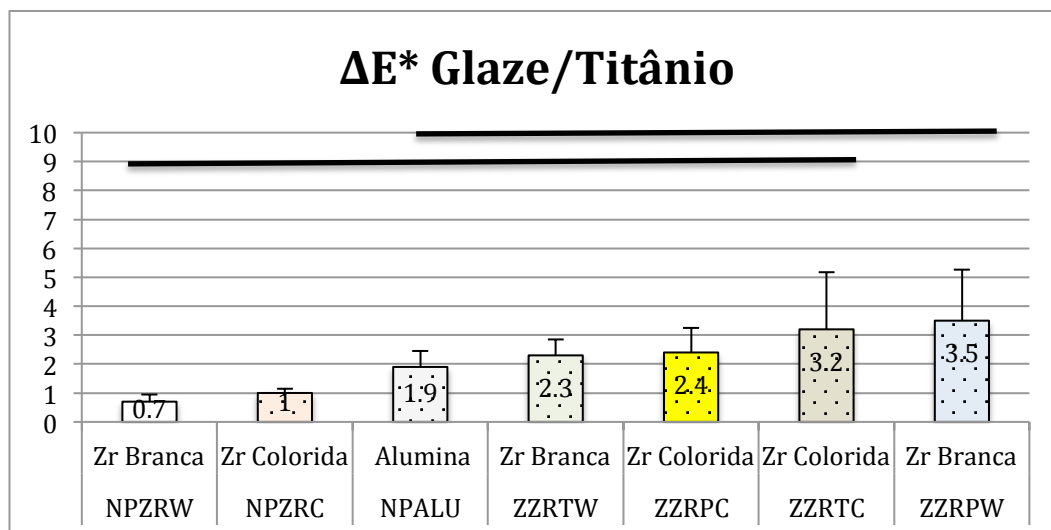


Figura 3. 26 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após "glaze" para o fundo titânio (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

- para o fundo zircónia: NPALU vs. ZZRTW ($p=0,044$), NPALU vs. ZZRPW ($p=0,013$) e NPALU vs. ZZRTC ($p=0,005$) (Figura 3.27);

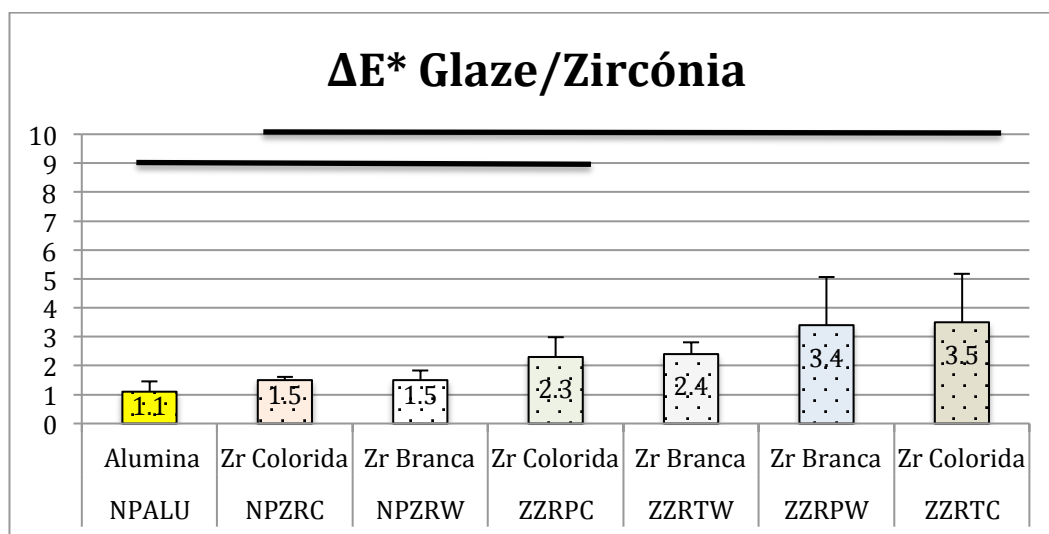


Figura 3. 27 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo zircónia (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Em resumo, entre os vários materiais só não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre NPZRW e ZZRPW para os fundos Ag-Au-Pt polido e zircónia. Entre NPZRW e ZZRTC verificaram-se diferenças nos fundos Co-Cr jateado, Ag-Au-Pt jateado e dentina, enquanto que entre NPZRW e NPALU apenas nos fundos Co-Cr jateado e dentina.

O material NPZRC também mostrou diferenças com ZZRPW nos fundos Co-Cr jateado, compósito e titânio. Registaram-se ainda diferenças entre NPALU com ZZRPW e com ZZRTC nos fundos Ag-Au-Pt polido e zircónia. Neste último fundo verificou-se ainda diferença entre NPALU e ZZRTW.

Quanto à influência dos fundos sobre os valores de ΔE^* , verificou-se que para a medição inicial, só com estruturas, o tipo de fundo influenciou de forma estatisticamente muito significativa ($p<0,001$) os valores de ΔE , para todas os materiais de infraestrutura em estudo (Figura 3.28).

No entanto, após a aplicação do “glaze”, a influência dos fundos mostrou-se de uma forma mais limitada. Nesta fase, o ΔE^* apenas foi influenciado de forma estatisticamente muito significativa ($p<0,001$) pelo tipo de fundo nos grupos experimentais NPALU, NPZRW e NPZRC. Para as estruturas ZZRTW

($p=0,051$), ZZRTC ($p=0,347$), ZZRPW ($p=0,611$) e ZZRPC ($p=0,972$) não se observou qualquer influência dos fundos sobre o ΔE (Figura 3.28).

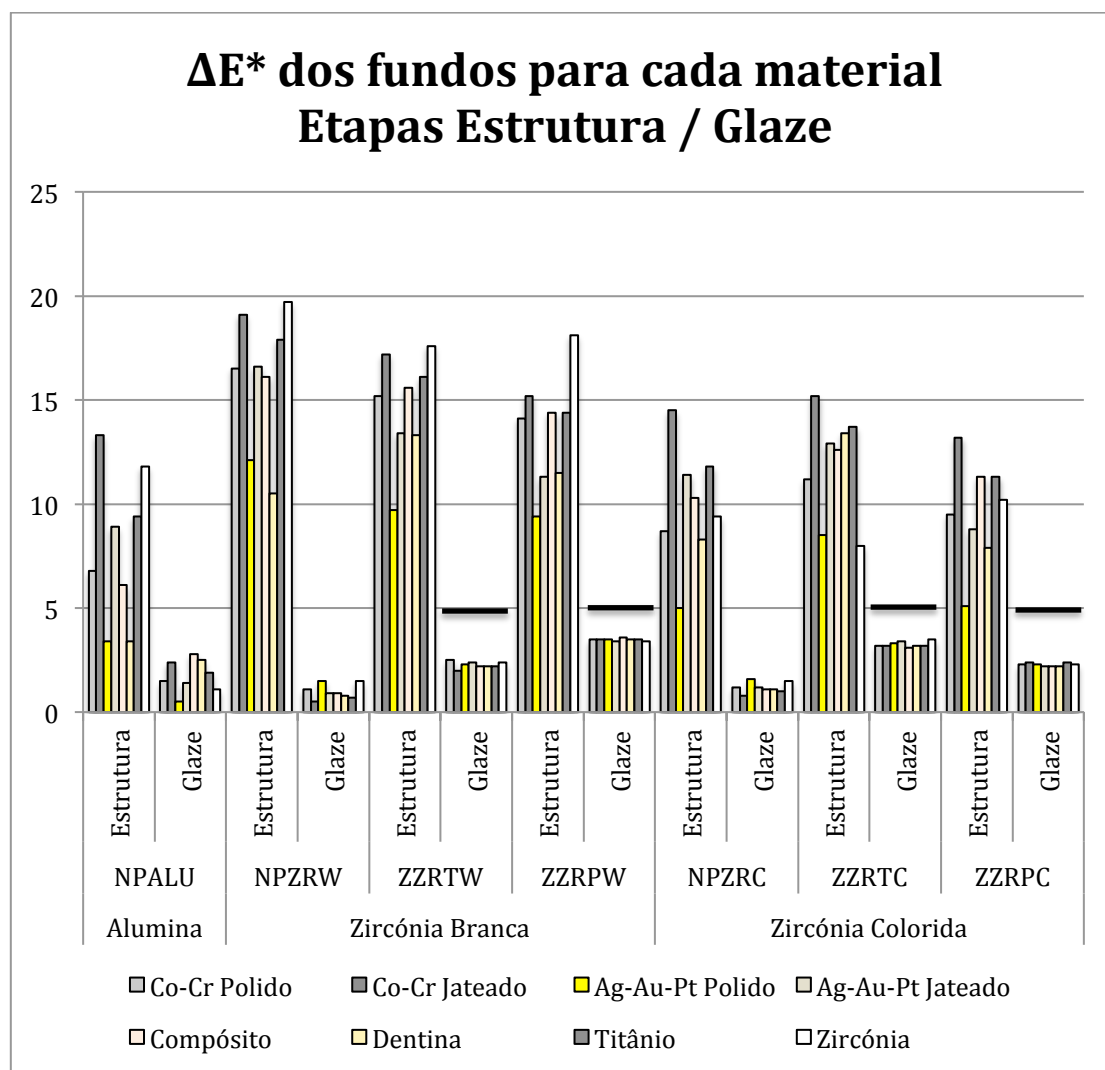


Figura 3. 28 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada fundo para cada material de estrutura nas etapas de estrutura e "glaze" (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

3.5 DISCUSSÃO

Relativamente às propriedades óticas, pode dizer-se que a zircónia estabilizada com ítria apresenta um índice de refração elevado (2,15 – 2,18), superior ao da alumina (1,76) e alta opacidade no espectro do visível (CR = 1,00 para In-Ceram Zircónia e CR=0,83 para Procera Zirconia, 3M Lava e Kavo Everest), também superior ao da alumina (CR=0,87 para In-Ceram Alumina e CR=0,72 para a Procera Alumina) (Heffernan et al., 2002; Ban, 2008; Liu et al., 2013). Verifica-se que, com exceção do In-Ceram Zircónia, a maioria das zircónias apresenta alguma translucidez, apesar da sua transmitância no espectro do visível ser relativamente baixa (< 2% para espessura superior a 0,4mm)(Ban, 2008), sendo por isso o material definido de uma forma qualitativa como um material “semi-translúcido” (Vichy et al., 2011). Mesmo que seja otimizada a translucidez da zircónia ela será normalmente menor do que a da alumina, spinell ou das cerâmicas feldspáticas (Ban, 2008).

Tem-se verificando uma tendência para os fabricantes alterarem a composição das zircónias comerciais, no sentido de alterar a translucidez (Jardel et al., 2011). Por outro lado, a forma de manipulação tem sofrido também algumas alterações, com o objetivo de modificar a densidade e cor base da zircónia (Denry et al., 2008; Zarone et al., 2011). Desta forma, torna-se pertinente estudar a influência da infraestrutura fabricada com este tipo de materiais na translucidez e cor final das restaurações. A influência que os cotos dentários que funcionam como fundos apresentam nas restaurações realizadas com estes tipos de zircónia é também um fator pertinente (Panagiota et al., 2011).

Diferenças na translucidez de várias zircónias têm sido atribuídas a pequenas diferenças na estrutura molecular e composição química das cerâmicas, nomeadamente a adição de alumina e pela existência de uma nano estrutura intergranular constituída por partículas de alumina entre 10-100 nm no interior da zircónia e partículas de 10 nm de óxido de zircónio no interior dos grãos de alumina (Baldissara et al., 2010; Ban, 2008). Também o processo de fresagem e sinterização poderão modificar a estrutura cristalina do material influenciando desta forma as suas características óticas (Baldissara et al., 2010).

Temperaturas mais elevadas e maior tempo de exposição à temperatura aumentam a translucidez da zircónia (Ebeid et al., 2014).

Diferenças de cor foram já relatadas para diferentes zircónias, que apresentam pequenas alterações dimensionais e estruturais ao nível dos grãos e dos seus limites que provocam níveis de absorção e dispersão da luz superiores, tendo essas diferenças sido justificadas pela diferença de composição entre o material comercializado pelos diversos fabricantes (Alghazzawi et al., 2012).

Das zircónias estabilizadas com ítria utilizadas no presente estudo não é conhecida a sua exacta composição, pelo facto dos respetivos fabricantes não disponibilizarem essa informação. A cerâmica Prettau (ZZRPW) é apresentada como uma variante da zircónia tradicional (ZZRTW) com maior translucidez. A única informação encontrada (Jardel et al., 2011), apresenta uma tabela de comparação de composição e propriedades entre a zircónia ICE Translucida e a zircónia Prettau da marca Zirkonzahn, em que as diferenças de composição química observáveis são apenas na percentagem de alumina que ambos os materiais contêm. A zircónia Prettau contem 0,35% de alumina, enquanto que a ICE Translucida contem apenas 0,15%. Por indicação do fabricante, a zircónia Prettau foi sinterizada neste estudo à temperatura final de 1600 °C com um incremento de 8 °C/minuto, enquanto que a zircónia Ice Translucida foi sinterizada à temperatura final de 1500 °C com um incremento de 8 °C/minuto, ambas com uma manutenção de temperatura final de 120 minutos. Atendendo à temperatura mais elevada de sinterização da zircónia Prettau é compreensível a tendência para apresentar maior translucidez que as outras duas zircónias brancas em estudo (Ebeid et al., 2014), embora estas diferenças não sejam estatisticamente significativas.

A zircónia NPZRW é uma zircónia tradicional presumindo-se que a sua constituição química seja bastante idêntica à da ZZRTW. A informação relativamente à composição e ao ciclo de sinterização final do material zircónia da marca Nobel Procera também não foi revelado, apesar do insistente pedido da informação junto da Nobel Biocare. Na literatura também não foi possível encontrar essa informação. Do material NPALU também não é conhecido o ciclo de sinterização, uma vez que em ambos os casos, a sinterização é realizada pelo fabricante.

Entre os protocolos das duas marcas verificam-se diferenças de produção, nomeadamente na forma de pigmentação das estruturas e na forma de compactação, fresagem e sinterização do material. Estes fatores podem influenciar os resultados obtidos e devem por isso ser tidos em consideração na análise dos resultados.

3.5.1 Transmitância

No presente estudo foram testadas diferentes estruturas de cerâmica de alta resistência, tendo sido utilizada alumina e zircónia, com a sua cor tradicional branca e com a pigmentação indicada pelos fabricantes como ideal para alcançar a cor padrão utilizada no estudo (D3 VITA). Apesar de a %T ser pequena, todos os materiais apresentaram alguma transmitância e podem portanto ser considerados como translúcidos. Apesar de a luz sofrer dispersão, uma pequena parte, geralmente inferior a 1% (ver figura 2.15), é transmitida, pelo que estes materiais podem ser considerados como translúcidos. Resultados semelhantes tinham sido já encontrados em estudo anterior (Vichi et al., 2011). As estruturas de alumina registaram valores superiores ao das estruturas de zircónia e entre estas, as brancas registaram valores superiores ao das coloridas. Tinha já sido mencionado na literatura que as técnicas de pigmentação da zircónia podem diminuir a translucidez do material (Shah et al., 2008; Baldissara et al., 2010). Assim, a hipótese nula foi rejeitada uma vez que se verificou existir influência do material de estrutura na %T na etapa de estrutura e na etapa de “glaze”.

Segundo os resultados obtidos (ver gráfico 3.3 e 3.4) a alumina apresentou valores de %T (1,4 na estrutura e 0,36 após “glaze”) relativamente mais elevados que todas as zircónias (0,51 - 0,7 na estrutura e 0,16 - 0,22 após “glaze”) nas duas etapas, mas neste estudo esta diferença só apresentou significado estatístico para com duas das zircónias coloridas (ZZRTC e NPZRC) antes da aplicação de cerâmica, tendo-se verificado que após a etapa de “glaze” se manteve a diferença para a ZZRTC mas desapareceu a diferença para a NPZRC. Nesta última etapa, verificou-se ainda diferença com uma das zircónias brancas (ZZRPW). A diferença de translucidez entre alumina e zircónia é referida na literatura em vários estudos, realizados com diferentes metodologias. Heffernan

et al. (2002), registaram um CR=0,72 para estruturas de Procera Alumina de 0,5 mm de espessura em contraste com um CR=1,00 para In-Ceram Zirconia. Sadan et al., (2005), que avaliaram estruturas de 0,6 mm de espessura de Procera Alumina e Procera Zirconia registaram 72% de transmissão na alumina e 48% de transmissão na zircónia, utilizando uma lâmpada de polimerização e um medidor de potência de laser. Finalmente, Liu et al., (2013), que também estudaram estruturas Nobel Procera de 0,4 mm de espessura registaram valores de CR=0,78 para a alumina e CR=0,83 para a zircónia, não tendo encontrado, também, diferenças estatisticamente significativas entre outras zircónias que estudaram (Nobel Procera; 3M Lava e Kavo Everest).

A diferença de comportamento verificada no presente estudo, após o recobrimento, pode estar associada a uma interação entre vários fatores. Um deles é o aumento da espessura. É sabido que cerâmicas menos translúcidas são menos afetadas pelo aumento de espessura (Ilie et al., 2014). A porosidade entre as camadas, a estrutura da cerâmica de recobrimento, a reflexão na interface da cerâmica de recobrimento com a cerâmica de estrutura ou ainda alterações às características da cerâmica de estrutura induzidas pelas várias queimas de sinterização, são outros fatores a ter em consideração (Heffernan et al., 2002; Vichi et al., 2011). De entre estas, as duas últimas podem ter uma maior preponderância uma vez que, no presente estudo, o protocolo padronizou a cerâmica de recobrimento, a técnica de aplicação das várias camadas, a espessura entre camadas e também o protocolo de queima da cerâmica de recobrimento, sendo desconhecida a exata composição química bem como o protocolo de sinterização final de algumas das zircónias em estudo.

O facto da estrutura química da cerâmica de recobrimento utilizada em todos os grupos de zircónia ser ligeiramente diferente da utilizada no grupo de alumina, apenas por consequência do diferente coeficiente de expansão térmica dos dois materiais, pode também ser levado em consideração na comparação entre as zircónias e a alumina porque ele é, também, susceptível de criar diferenças na reflexão na interface entre o material de estrutura e de recobrimento.

O facto do processo de fabrico das várias estruturas de zircónia ser distinto entre os dois fabricantes pode ser um factor de alteração de

comportamento dos materiais de estrutura. Esta possibilidade foi também identificada no estudo de Liu et al. (2013), para justificar a diferença de opacidade entre os discos de zircónia da marca Dentsply Cercon e os das marcas Kavo Everest e Nobel Procera. No mesmo trabalho, os autores identificaram uma diferença estatisticamente significativa entre a média do índice de contraste da alumina do sistema Nobel Procera com todas as zircónia em estudo. No entanto, no presente estudo não foi encontrada uma diferença estatística significativa de %T entre a alumina e todas as zircónias brancas ou coloridas, nem entre as zircónias brancas e as coloridas, apesar de todas elas registarem diferenças entre si.

Na literatura é feita referência à possibilidade da pigmentação das estruturas através de várias técnicas poder diminuir a sua translucidez bem como as propriedades mecânicas (Shah et al., 2008; Baldissara et al., 2010). De facto, inicialmente constatou-se que em geral todas as zircónias coloridas registaram menor translucidez que as zircónias brancas e entre o mesmo material também se verificou que a zircónia colorida foi menos translúcida do que a branca. Contudo após o recobrimento o comportamento de translucidez das zircónias alterou-se.

A zircónia ZZRPW foi inicialmente a estrutura mais translúcida entre todas as zircónias testadas, mas foi também aquela que demonstrou uma alteração de comportamento maior, tendo passado de ser a zircónia mais translúcida para ser a segunda menos translúcida após o revestimento com cerâmica. Quando a mesma zircónia foi utilizada com pigmentação (ZZRPC), passou de terceiro material de estrutura menos translúcido para ser o mais translúcido após a etapa de “glaze” ultrapassando estruturas brancas, ou seja um comportamento inverso e que não se registou em nenhuma das outras zircónias coloridas. A diferença de composição química do material, bem como a diferente temperatura final de sinterização e de incremento da temperatura podem ser determinantes para esta alteração de comportamento após as queimas de cerâmica (Duran et al., 2012). Outros factores apontados são o tipo de aditivos, a temperatura de sinterização, as condições de atmosfera durante a sinterização e os métodos de aquecimento (Kim et al., 2013; Ebeid et al., 2014).

Se atendermos ao facto de todas as zircónias coloridas do estudo apresentarem uma diminuição entre as duas etapas que é percentualmente igual (68%) entre elas (Tabela 3.2), faz pressupor que a pigmentação das estruturas anula a eventual diferença de comportamento que se verifica nas zircónias brancas. Estas apresentaram uma diminuição que não foi percentualmente a mesma para todas elas. Entre as zircónias brancas e as coloridas testadas apenas variou a pigmentação. Vários estudos (Heffernan et al., 2002; Duran et al., 2012; Wang et al., 2013) apontaram sempre como principal fator para as diferenças de translucidez observadas entre as várias zircónias as pequenas diferenças de composição química existentes entre elas, contudo não pode ser desprezado o eventual efeito da temperatura de sinterização no comportamento do material. A temperatura e as condições de sinterização podem influenciar a dimensão do grão das partículas e provocar um comportamento ótico diferente. Kim et al. (2013), num estudo com zircónia da marca Kavo Everest (Kavo Dental, Germany) e Lava (3M ESPE, USA) que submeteram a diferentes protocolos de temperatura e incremento de temperatura medindo a sua translucidez e o tamanho do grão, concluíram que o tempo de sinterização afeta o tamanho do grão das partículas de zircónia, afirmando que protocolos de sinterização mais curtos promovem tamanho de grão menor, o que se traduz numa maior translucidez do material. No presente estudo, as estruturas Prettau utilizadas foram sinterizadas a uma temperatura mais elevada, o que aumentou o tempo de sinterização e por isso o tamanho do grão poderá ser diferente do das outras zircónias em estudo. As queimas sucessivas a que a estrutura é sujeita até à etapa de “glaze” podem produzir outras alterações à estrutura que só podem ser avaliadas e quantificados se forem feitos estudos sobre a estrutura cristalina do material, nomeadamente com difração de raios-X ou com a observação em microscópio electrónico de varrimento (SEM).

Entre as várias estruturas de zircónia colorida não se registaram diferenças na etapa de estrutura. Contudo após a etapa de “glaze” verificou-se diferença entre a ZZRPC (0,22%) e a ZZRTC (0,16%). Esta diferença foi já discutida anteriormente, com base na diferença de estrutura química evidenciada pelo material zircónia Prettau, bem como a temperatura de

sinterização. O processo de pigmentação, diferente entre as duas marcas testadas, não evidencia uma influência diferente entre os dois métodos.

3.5.2 Diferenças de cor

Um dos principais fatores de sucesso de uma restauração fixa é a sua integração estética. Para que esta seja alcançada é imprescindível que a restauração apresente uma cor idêntica relativamente à dentição natural dos pacientes. Como o suporte dentário para as restaurações fixas pode variar entre dentes e implantes e, em ambos, a estrutura de suporte para a restauração pode ser constituída por uma enorme variedade de materiais, torna-se necessário perceber a interação ao nível da percepção de cor que existe entre o material da restauração e a sua estrutura de suporte. Esta informação é determinante para que o técnico/médico possam fazer uma opção correta do material de restauração, quer ao nível do sistema de cerâmica para a fabricação da restauração, ou mesmo do material para restauração do coto dentário ou pilar de implante a utilizar.

No presente estudo, verificaram-se diferenças significativas de ΔE^* entre a fase de estrutura e a fase de “glaze”. O recobrimento das estruturas com 1,2 mm de cerâmica diminuiu os valores de ΔE^* de todos os materiais, independentemente dos fundos. Em qualquer das etapas foram registadas diferenças entre os materiais de estrutura, rejeitando-se assim a hipótese nula de que o material de estrutura não tem influência na diferença de cor das restaurações.

Na fase de estrutura, registaram-se diferenças entre os materiais coloridos e os de cor branca. Os coloridos apresentaram valores de ΔE^* mais baixos do que os brancos. Com exceção da alumina sobre o fundo de Ag-Au-Pt polido e sobre o fundo dentina, todos os materiais de estrutura estudados registaram valores acima do limite de aceitabilidade clínica ($\Delta E^*=3,7$), revelando assim não terem, com espessura de 0,4mm, capacidade por si próprios para camuflar o fundo e alcançar uma cor final clinicamente aceitável. Vários estudos, utilizando zircónia e outros materiais cerâmicos (Nakamura et al., 2002;

Shimada et al., 2006; Li et al., 2009; Terzioglu et al., 2009; Chang et al., 2009; de Azevedo et al., 2011) identificaram valores elevados de ΔE^*_{ab} , que excediam os valores de aceitabilidade clínica. Desta forma, concluíram que uma espessura total inferior a 1,5mm era um fator vital para a percepção do fundo, pelo facto de serem materiais translúcidos.

Verifica-se, pelos resultados que todas as zircónias coloridas apresentam valores de ΔE^* mais baixos do que as suas respectivas zircónias brancas, independentemente do fundo. Observou-se que quanto mais translúcido é o material de estrutura colorida maior o número de fundos nos quais existem diferenças estatisticamente significativas para as zircónias brancas que têm menor translucidez. No presente estudo tinha-se já verificado que os materiais coloridos apresentaram uma %T na ordem decrescente de NPALU>ZZRPC>NPZRC>ZZRTC, enquanto que as zircónias brancas apresentaram por ordem crescente, de %T, NPZRW<ZZRTW<ZZRPW. As zircónias brancas apresentaram todas maior %T do que as zircónias coloridas e a alumina foi o material que registou maior %T entre todos. Com a pigmentação da estrutura, para além da diminuição da translucidez, é também alterada a cor branca original da zircónia, sendo este efeito passível de alterar também o ΔE^* das estruturas nos vários fundos. A cor branca da zircónia pode simular o aspecto opaco da dentina dos dentes naturais, no entanto o alto valor (brilho) da cor branca opaca desta cerâmica necessita por vezes de ser reduzida ou camuflada utilizando óxidos ou sais coloridos (Baldissara et al., 2010).

Percebe-se assim existir uma relação entre a cor do material e a sua translucidez na influência da diminuição de ΔE^* para os vários fundos, contudo não foi possível quantificar a influência de cada um dos fatores isoladamente. Estes resultados vêm confirmar que a translucidez e a cor são duas propriedades de uma restauração cerâmica que são altamente correlacionadas (O'Brien, 1985; Ilie et al., 2008; Baldissara et al. 2010).

Após a etapa de "glaze" verificou-se que todos os materiais apresentam, independentemente do fundo, um $\Delta E^*<3,7$, ficando por isso dentro do limite de aceitabilidade clínica. Além disso, os materiais NPZRW e NPZRC (com exceção do fundo Ag-Au-Pt polido, com um $\Delta E^*=1,7$) apresentaram um $\Delta E^*<1,6$, ou seja, dentro do limite de imperceptibilidade, tendo mesmo NPZRW registado valores

de $\Delta E^* < 1$ em cinco dos oito fundos. Também o material NPALU registou valores de $\Delta E^* < 1,6$ em quatro dos oito fundos estudados. Nenhum dos outros materiais (ZZRTW, ZZRTC, ZZRPW e ZZRPC) registou valores de $\Delta E^* < 1,6$ para qualquer dos fundos.

Estes resultados estão em linha com os registados num estudo recente *in vivo* com coroas posteriores, onde foram utilizadas estruturas de zircónia de 0,4mm (ZENO, Wieland Dental and Technik GmbH & Co, Germany) revestidas com ZirLiner e cerâmica de recobrimento (IPS e.max Ceram, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) até uma espessura final de 1,5 mm, tendo sido cimentadas com cimento neutro sobre falso coto metálico ou em compósito (Suputtamongkol et al., 2013). Não foram encontradas diferenças entre os dois fundos, apesar da cor do fundo poder alterar a cor final da restauração, tendo-se registado diferenças ΔE^*_{ab} entre 1,2 e 3,1 (Suputtamongkol et al., 2013).

No presente estudo, apesar dos valores estarem dentro dos limites de aceitabilidade clínica, foram contudo encontradas diferenças estatisticamente significativas entre NPZRW e ZZRPW, em seis dos oito fundos estudados. Os fundos nos quais se registaram essas diferenças significativas foram precisamente aqueles para os quais se tinham registado valores de $\Delta E^* \leq 1,1$. Apenas no fundo Ag-Au-Pt polido e no fundo zircónia não foi observada esta diferença estatisticamente significativa, tendo sido registada entre NPALU e ZZRPW, precisamente os fundos para os quais NPALU também registou $\Delta E^* \leq 1,1$.

Estes resultados são interessantes na medida em que NPALU e ZZRPW foram os dois materiais que apresentaram maior translucidez entre todos e NPZRW a menor translucidez entre as zircónias brancas, na fase de estrutura. Ainda assim, NPZRW apresentou valores de ΔE^* maiores do que os outros dois materiais, para todos os fundos. Após o recobrimento, esta relação alterou-se uma vez que este material passou a registar valores de ΔE^* mais baixos, sendo apenas superado por NPALU em dois fundos (Ag-Au-Pt polido e zircónia). ZZRTW passou a ser o material menos translúcido entre os três e aquele que apresentou maiores diferenças de ΔE^* .

Apesar de na literatura aparecerem sugestões de que as estruturas de zircónia não são facilmente afetadas nas suas propriedades óticas após a sua sinterização final (Mclean, 1995), tem sido referido mais recentemente que estas

alterações de comportamento dos materiais só podem ser explicada por diferenças estruturais ao nível do material de estrutura, induzidas pela sua composição química, pelos processos de produção e pelos ciclos de queima a que o material é sujeito durante a sua sinterização inicial e que depois se repercutem na fase de sinterização da cerâmica de recobrimento (Guazzato et al., 2004; Kim et al., 2013, Suputtamongkol et al., 2013). De facto, os nossos resultados apontam na mesma direcção.

A diferença de cor das estruturas traduziu-se inicialmente num fator diferenciador, uma vez que todas as estruturas coloridas apresentaram menor ΔE^* do que as estruturas brancas. Contudo após a etapa de “glaze” isto deixou de se verificar, uma vez que NPZRW e NPZRC registaram valores aproximados, sendo inclusive os de NPZRW menores. Também se registou que ZZRTW apresentou valores menores que ZZRTC, no entanto ZZRPW registou valores superiores a ZZRPC. NPALU apresentou um resultado mais aproximado a NPZRW e NPZRC. A pigmentação do material de estrutura não parece ser um fator determinante na diferença de ΔE^* registada. Entre as várias zircónias observou-se que NPZRW e NPZRC registaram valores de ΔE^* maiores do que 0,5 e menores do que 1,7, ZZRTW e ZZRPC registaram valores de ΔE^* maiores que 2 e menores que 2,5 e finalmente ZZRPW e ZZRTC registaram valores de ΔE^* maiores que 3 e menores que 3,7. Esta informação deve ser levada em consideração na escolha dos materiais de estrutura para uma restauração quando a opção possa recair entre a escolha dos materiais do mesmo fabricante ou entre diferentes fabricantes.

Relativamente ao comportamento dos vários fundos, verificou-se pelos resultados existirem diferenças estatísticas significativas entre os vários fundos na etapa de estrutura, tendo elas deixado de se registar após a etapa de “glaze” para os materiais da marca Zirkozahn. Nesta fase, registaram-se diferenças apenas para os materiais NPALU, NPZRW e NPRZC, todos da marca Nobel Biocare. Rejeitou-se assim a hipótese nula formulada.

O comportamento dos fundos variou entre os materiais. Observou-se que entre os materiais ZZRTW, ZZRPW, ZZRTC e ZZRPC existindo variabilidade inicial de ΔE^* entre os vários fundos ela praticamente desapareceu após a etapa de “glaze”, apresentando os quatro materiais um comportamento muito linear

para todos os fundos ($\Delta E^* < 0,5$ entre os oito fundos), sendo ainda mais evidente em ZZRPW e ZZRPC. Os materiais NPALU, NPZRW e NPZRC também apresentaram uma variação mais elevada na fase inicial que diminuiu após a etapa de “glaze”, embora menos que no outro grupo de materiais, já que se registaram entre os oito fundos ΔE^* maior que 0,5 e menor que 1.

Assim parece ser indiferente o efeito dos vários fundos no ΔE^* dos vários materiais da marca Zirkonzahn. No entanto para a marca Nobel Procera é possível identificar que nos fundos Ag-Au-Pt polido e zircónia o material NPALU apresenta um ΔE^* consideravelmente menor que o das duas zircónias. Estas indicações podem ser úteis na escolha do material para as restaurações sobre dentes ou implantes quando se utilizam falsos cotos ou pilares fabricados com este tipo de materiais por razões de biocompatibilidade.

Num estudo com coroas de disilicato de lítio (IPS-Empress 2) (Injetadas/pintadas e injetadas/estratificadas) e In-Ceram Alumina cimentadas sobre falsos cotos de ouro polido/jateado, cerâmica e metal ceramisado não foram encontradas diferenças significativas entre as várias restaurações em condições de observação clínica, apesar de se terem observado diferenças espectrofotométricas (Carossa et al., 2001). Apesar do estudo não ter utilizado restaurações de cerâmica de alta resistência, os resultados são idênticos aos alcançados no presente estudo, registando o material alumina o comportamento mais aproximado ao do referido estudo. Os mesmos autores sugeriam a utilização de falsos cotos metálicos em ouro por estes não só apresentarem um melhor resultado estético mas também por ser uma melhor opção em termos biomecânicos e de biocompatibilidade.

Não deixa de ser também interessante que os materiais NPALU, NPZRW e NPZRC, todos produzidos segundo o mesmo processo de fabricação apresentem melhores resultados de ΔE^* do que os materiais ZZRTW, ZZRPW, ZZRTC e ZZRPC. Estes resultados apontam também para uma eventual importância das condições de fabrico e manipulação dos materiais que podem ter influencia na estabilidade estrutural do material e na forma como a luz interage com o material. A difusão da luz nos materiais policristalinos tem várias causas, tais como a irregularidade da distribuição das fases, defeitos ou espaços em branco nos limites do grão, anisotropia ótica dos grãos, grão maior que o comprimento

de onda da luz incidente, índices de refração diferentes entre as partículas e finalmente a sua natureza química (Heffernan et al., 2002; Baldissara et al., 2010).

Como é perceptível na literatura, um conjunto alargado de fatores parece influenciar a cor das restaurações. De entre eles, encontram-se o sistema de cimentação e a espessura das restaurações (Barghi et al., 1982; Jacobs et al., 1987; Shokry et al., 2006; Antonson et al., 2001; Heffernan et al., 2002; Sahin et al., 2010). Relativamente a estes fatores é espectável que com espessuras de cerâmica de recobrimento inferiores à utilizada neste estudo a influência dos fundos seja maior e que alguns dos materiais aqui estudados e que apresentaram resultados perto do limite de aceitabilidade clínica o possam ultrapassar com facilidade. Para esses a cor e opacidade do material de cimentação pode ser determinante na redução de ΔE^* que se possa vir a verificar após a cimentação. Este tema deve também merecer atenção e ser investigado no futuro.

Os resultados obtidos apresentam uma oportunidade para a compreensão do comportamento dos materiais nas várias situações clínicas e no seu comportamento estrutural, embora possam não ter a mesma relevância do ponto de vista clínico, uma vez que todos os sistemas estudados permitem a obtenção de um resultado clinicamente aceitável. Estes resultados devem ser por isso aprofundados com estudo das variações de ΔL^* , ΔC^* e Δh^* no sentido de tornar mais claras as alterações cromáticas verificadas em cada um dos materiais de estrutura, contribuindo para o aperfeiçoamento técnico na realização de restaurações com materiais cerâmicos de alta resistência.

3.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir:

1. A cerâmica utilizada para o fabrico da infraestrutura influenciou a transmissão de luz. As estruturas de zircónia colorida apresentam menor transmissão de luz do que as estruturas brancas e ambas apresentam menor

transmissão de luz do que as estruturas de alumina, antes e após a aplicação de cerâmica de recobrimento.

2. A aplicação de cerâmica de recobrimento fez diminuir a %T de todos os materiais, tendo as zircónias coloridas revelado uma diminuição uniforme de 68% entre a etapa de estrutura e a etapa de “glaze”.
3. A infraestrutura influencia a diferença de cor das restaurações. Para os fundos Ag-Au-Pt polido e zircónia o material alumina apresenta ΔE^* menor que qualquer uma das zircónias.
4. O recobrimento de estruturas de alumina ou zircónia com 1,2mm de cerâmica permite alcançar um ΔE^* dentro do limite de aceitabilidade clínica para qualquer dos fundos.
5. O fundo influencia a diferença de cor das restaurações. Tal influência é mais expressiva na fase inicial, só com a estrutura, que na fase após o “glaze”.

4 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE “LINER” NA TRANSMITÂNCIA E NA COR DAS RESTAURAÇÕES

4.1 INTRODUÇÃO

As infraestruturas de cerâmica de alta resistência podem apresentar a cor do próprio material ou a sua cor pode ser modificada antes ou após a sinterização final. A cor branca característica da zircônia não permite atingir uma boa integração estética (Vichy et al., 2011). Por essa razão, pigmentos ou cerâmicas de recobrimento devem ser usados para alterar a sua cor base.

As infraestruturas de zircônia são hoje comercializadas não só na cor branca, mas também numa variedade de cores que podem corresponder às cores da escala VITA ou, em alguns casos, a um conjunto mais limitado de cores (Panagiota et al., 2011). No caso das duas marcas em estudo neste trabalho, o sistema Nobel Procera comercializa estruturas de zircônia com quatro tonalidades: branca, “light”, “médium” ou “intense”, enquanto que no sistema Zirkonzahn a coloração da zircônia branca pode ser feita em qualquer das cores da escala VITA.

4.1.1 Pigmentação de estruturas cristalinas de alta resistência

A coloração das estruturas de alta resistência é actualmente feita por pigmentação do material antes da fase final de sinterização, sendo, também proposto que a alteração da cor base das infraestruturas de alta resistência seja feita com a utilização de cerâmica de “liner” (Aboushelib et al., 2010), apesar de poder afetar a resistência de união com a cerâmica de recobrimento (Miyazaki et al., 2013). Por isso alguns fabricantes comercializam cerâmicas de recobrimento com cerâmica de “liner” para ser utilizada sobre infraestruturas, com ou sem coloração prévia. As cerâmicas de “liner” são utilizadas de forma similar à cerâmica de opaco utilizada nos sistemas de metalo-cerâmica e estão disponíveis, tais como estas, em diferentes cores base, correspondentes às da escala VITA e intensificadores de cor. Para além de condicionar a cor base da infraestrutura o “liner” confere propriedades de fluorescência às infraestruturas que não a possuem intrinsecamente quando não são pigmentadas com soluções de coloração que também acrescentem esta propriedade.

Ao contrário das estruturas metálicas, que são completamente opacas, as infraestruturas de cerâmica apresentam alguma translucidez e podem interagir com o fundo. Por isso, a translucidez pode não ser sempre um fator positivo, uma vez que pode diminuir a capacidade de camuflar um coto escurecido, comprometendo o resultado estético da restauração final (Chu et al., 2007).

A pigmentação das estruturas diminui a translucidez dos materiais cerâmicos em estudo, conforme demonstrado no estudo anterior (secção 3) e pode por isso ser também um fator a levar em consideração. Com o desenvolvimento de estruturas de zircónia com variadas cores torna-se útil avaliar o efeito das zircónias coloridas quando se utiliza ou não cerâmica de “liner” durante o seu recobrimento (Spyropoulou et al., 2011).

Para além da translucidez, a cor das várias estruturas de cerâmica de alta resistência pode ser uma condicionante para alcançar a cor pretendida de uma restauração, em particular quando se pretende replicar dentes de pacientes idosos. Nestas situações, o valor (luminosidade ou brilho) das infraestruturas pode ser muito elevado, tornando difícil alcançar o equilíbrio necessário para

atingir uma restauração perfeitamente integrada com a restante dentição, particularmente se o espaço para cerâmica de recobrimento for reduzido (Sadan et al., 2005). O papel das cerâmicas de “liner” pode ser importante no condicionamento da cor das infraestruturas e no alcançar de um melhor resultado estético.

Apesar da coloração das estruturas de zircónia ser feita no sentido de melhorar as suas características de cor, os resultados de alguns trabalhos de investigação não deixam transparecer esse benefício. De acordo com os resultados obtidos num estudo anterior, parece que a utilização do “liner” em infraestruturas não coloridas não é tão importante como se revelou sobre infraestruturas coloridas para a obtenção dos resultados estéticos desejados. (Aboushelib et al., 2010).

No estudo apresentado anteriormente (ponto 3) registaram-se valores de $\Delta E^* < 3,7$ para todos os materiais de estrutura após o seu recobrimento, independentemente da sua coloração branca ou colorida, tendo sido utilizada em todos os grupos experimentais cerâmica de “liner”. Uma das zircónias coloridas registou resultados equiparados aos da sua respectiva zircónia branca e que se situaram num $\Delta E^* < 1,7$ para todos os fundos. Importa por isso esclarecer a importância da utilização de cerâmica “liner” para atingir os melhores resultados estéticos na obtenção da cor alvo.

4.2 OBJECTIVOS

Este estudo pretendeu avaliar a influência da aplicação de cerâmica de “liner” na transmissão direta de luz de restaurações estratificadas por técnica convencional com diferentes infraestruturas coloridas (NPALU, NPZRC, ZZRTC e ZZRPC) e na diferença de cor das mesmas restaurações sobre diferentes fundos (liga CoCr-polido; liga CoCr-jateado; liga Au-polida; liga Au-jateada; compósito; dentina; titânio e zircónia). Formularam-se os seguintes objetivos com as respetivas hipóteses experimentais:

1- Analisar a influência da aplicação de cerâmica de “liner” na transmissão direta de luz das restaurações.

H0: A cerâmica de liner não influencia a transmitância.

H1: A cerâmica de liner influencia a transmitância.

2- Analisar a influência da aplicação de cerâmica de “liner” na diferença de cor das restaurações.

H0: A aplicação de cerâmica de “liner” não influencia a cor das restaurações .

H1: A aplicação de cerâmica de “liner” influencia a cor das restaurações.

3- Analisar a influência do fundo na diferença de cor das restaurações com e sem “liner”.

H0: O fundo não influencia a cor das restaurações.

H1: O fundo influencia a cor das restaurações.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo por base um estudo piloto, a dimensão da amostra (n=5) foi estimada com uma análise de potência de 80%, de forma a garantir significância estatística ($\alpha = 0,05$).

Foram obtidos discos de cerâmica de 12mm de diâmetro e 0,4mm de espessura, de forma idêntica ao descrito nos estudos anteriores. Foram testados os seguintes materiais de infraestrutura: alumina (NPALU) e zircônia colorida na cor “médium” do sistema Nobel Procera (NPZRC) e colorida em D3 com os líquidos de pigmentação do sistema Zirkonzahn (ZZRTC e ZZRPC) (Fig. 4.1). Os grupos experimentais são apresentados na tabela 4.1.

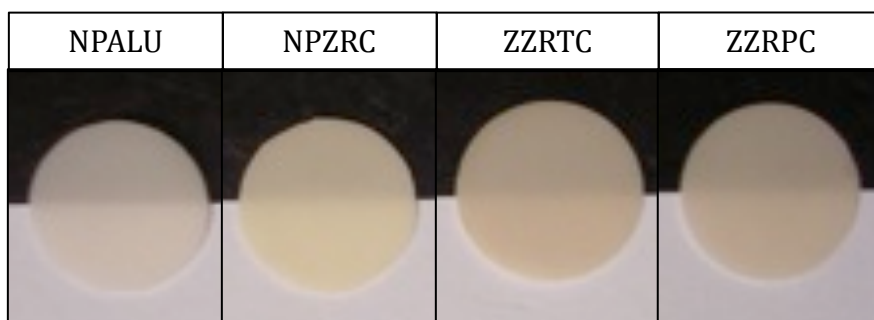


Figura 4. 1 – Materiais de infraestrutura utilizados.

Tabela 4. 1 - Grupos experimentais.

| | Alumina NobelProcera | Zirconia Colorida NobelProcera | Zircónia Translucida Colorida Zirkonzahn | Zircónia Prettau Colorida Zirkonzahn |
|-----------|-------------------------|--------------------------------------|---|---|
| COM LINER | NPALU | NPZRC | ZZRTC | ZZRPC |
| SEM LINER | NPALU | NPZRC | ZZRTC | ZZRPC |

Os espécimes foram manipulados da forma já descrita no ponto 2, secção 2.1 para os materiais da Nobel Procera e no ponto 3, secção 3.1 para os materiais da Zirkonzahn.

O recobrimento dos espécimes foi feito por técnica de estratificação convencional, também já descrita na secção 2.3.1.2.1 do ponto 2.

A espessura das camadas de cerâmica, a espessura final do espécime e a cor utilizada foram as mesmas que foram utilizadas no estudo do ponto 2, também já descritas na secção 2.3.1.2. Foi suprimida a etapa de aplicação de cerâmica de “Liner” nos grupos de comparação dos vários materiais de estrutura.

Nos ensaios de espectrofotometria de transmissão e de reflexão foi aplicada a mesma metodologia descrita para os estudos dos pontos 2 e 3, sendo feita a leitura nas etapas de estrutura e de “glaze”.

4.3.1 Análise estatística

Os dados obtidos foram inseridos numa base de dados e analisados estatisticamente com uma aplicação informática comercial - SPSS para MAC, versão 21.0 (SPSS Ins, Chicago, IL, USA).

Os dados de transmitância (%T) e de diferença de cor (ΔE^*) obtida a partir de dados CIELCh* foram inicialmente analisados com estatística descritiva. Após se ter verificado com o teste de Kolmogorov-Smirnov o não cumprimento da normalidade de distribuição da amostra ($p < 0,05$), foram utilizados testes estatísticos não paramétricos para a análise inferencial dos dados de transmitância e de ΔE^* , obtidos com a infraestrutura e após a aplicação do “glaze”.

Foram utilizados testes de medições repetidas segundo Wilcoxon, para verificar a existência de diferenças entre estas duas etapas de processamento dos espécimes.

Foram ainda utilizados testes não paramétricos de acordo com o método de Mann-Whitney para analisar a influência da aplicação da cerâmica de “liner” sobre a transmitância e sobre o ΔE^* obtido após a etapa de aplicação do “glaze”.

A análise da influencia dos vários fundos sobre o ΔE^* obtido após o “glaze” foi realizada utilizando testes não paramétricos para medições repetidas, ANOVA de duas vias às ordens segundo Friedman.

Para todos os testes estatísticos foi fixada uma significância estatística de 5% ($\alpha = 0,05$).

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Espectrofotometria de transmissão

Os valores médios e o desvio padrão de %T, no intervalo do espectro do visível considerado (380-800 nm), encontram-se descritos na tabela 4.2,

segundo os diferentes grupos de materiais na etapa de estrutura e de “glaze”. É também apresentada a percentagem de redução da transmitância obtida após o “glaze” relativamente aos valores obtidos apenas com a infraestrutura, para cada grupo experimental (Gráfico 4.1).

Tabela 4. 2 - Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão (DP) de cada grupo em cada etapa, bem como a diferença em % entre as duas etapas (n=5).

| Material | Grupo | Liner | Estrutura Média (DP) | “Glaze” Média (DP) | % Diminuição Estrutura/”Glaze” |
|-----------------|--------------|--------------|--------------------------------|------------------------------|---|
| Alumina | NPALU | Com | 1,40 (0,215) | 0,36 (0,015) | 74 % |
| | NPALU | Sem | 1,72 (0,146) | 0,48 (0,015) | 72 % |
| Zr Colorida | NPZRC | Com | 0,60 (0,056) | 0,19 (0,007) | 68 % |
| | NPZRC | Sem | 0,64 (0,013) | 0,36 (0,024) | 43 % |
| | ZZRTC | Com | 0,51 (0,014) | 0,16 (0,008) | 68 % |
| | ZZRTC | Sem | 0,57 (0,007) | 0,32 (0,019) | 43 % |
| | ZZRPC | Com | 0,69 (0,024) | 0,22 (0,014) | 68 % |
| | ZZRPC | Sem | 0,70 (0,012) | 0,37 (0,009) | 47 % |

A aplicação de cerâmica utilizando “liner” fez diminuir em 74% a transmitância de NPALU, enquanto que quando foi feito o recobrimento sem “liner” a diminuição foi de 72%. Nas zircónias NPZRC e ZZRTC a diminuição foi igual, tendo sido de 68% quando foi utilizado “liner” e 43% quando este não foi utilizado. Para a outra zircónia, ZZRPC, o recobrimento com “liner” fez diminuir a transmissão em 68% e quando este não foi utilizado a diminuição foi de 47% (Figura 4.2).

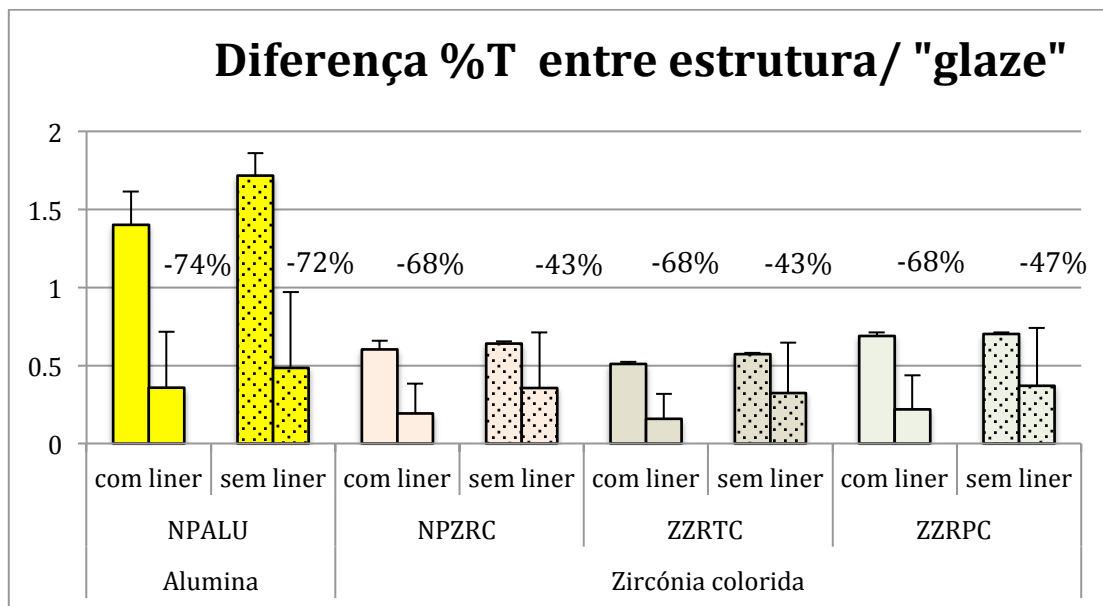


Figura 4. 2 - Diferença de % média de transmitância de cada grupo entre as etapas de estrutura e de "glaze".

Na análise do efeito da aplicação do "liner", foi possível verificar a existência de valores de transmitância dos espécimes sem "liner" estatisticamente superiores ($p=0,008$) aos obtidos com "liner", para todos os materiais de estrutura estudados (Figura 4.3).

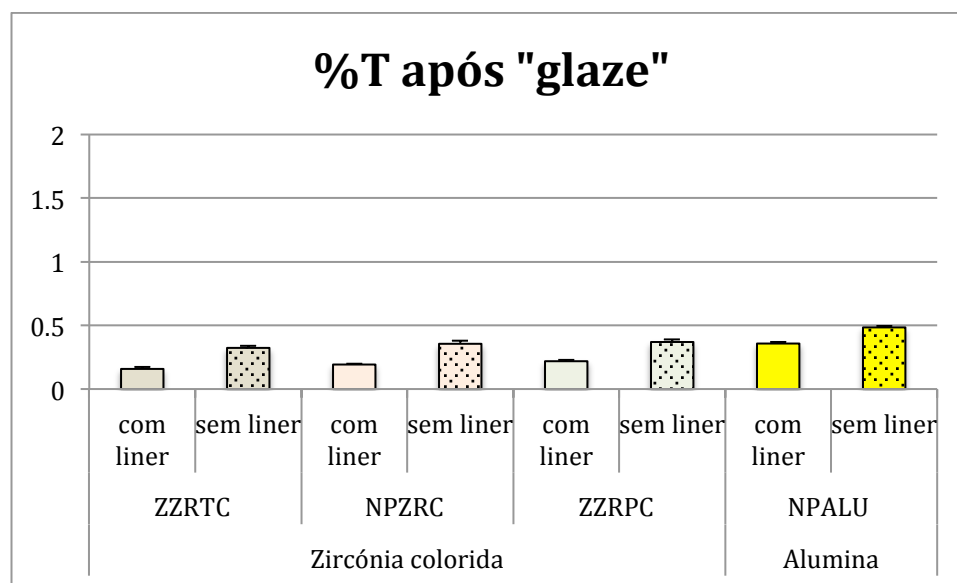


Figura 4. 3 - Distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo após "glaze".

As diferenças entre os grupos com "Liner" e sem "Liner" são também observáveis nas curvas espectrais obtidas com os espécimes de cada grupo que apresentaram o valor médio de %T mais próximo da média do grupo (Figura 4.4).

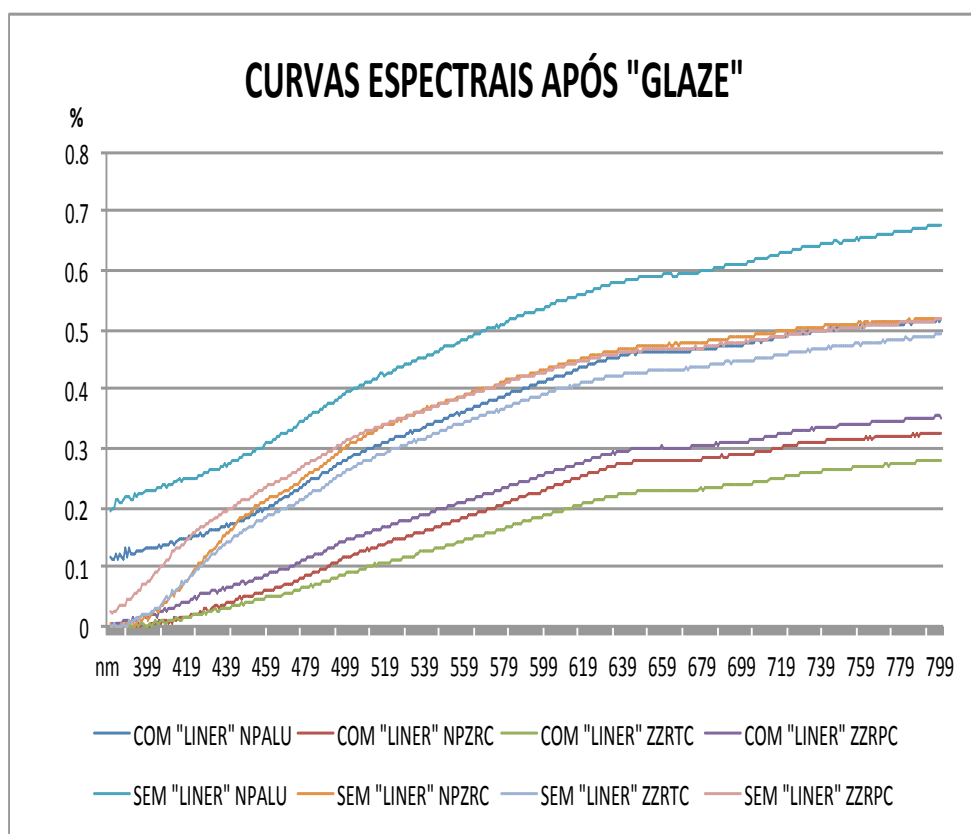


Figura 4. 4 - Curvas espectrais após "Glaze", de grupos com "liner" e sem "liner", obtidas com o espécime com valor de %T mais aproximado à média do grupo.

4.4.2- Espectrofotometria de reflexão

Os valores médios e o desvio padrão de ΔE^* de cada grupo na etapa de glaze encontram-se descritos na tabela 4.3 para cada fundo e são apresentados na figura 4.5.

Tabela 4. 3 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a **preto** - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$)

| Valores de ΔE* na etapa de “glaze” | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----|--------------|---------------|-----------------|------------------|------------|------------|------------|------------|
| Fundo | | | Co-Cr Polido | Co-Cr Jateado | Ag-Au-Pt Polido | Ag-Au-Pt Jateado | Compósito | Dentina | Titânio | Zircônia |
| | | | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) |
| Material / Liner | | | | | | | | | | |
| Alumina | NPALU | Com | 1,5 (0,54) | 2,4 (0,37) | 0,5 (0,13) | 1,4 (0,43) | 2,8 (0,65) | 2,5 (0,76) | 1,9 (0,56) | 1,1 (0,36) |
| | | Sem | 3,0 (0,19) | 4,8 (1,13) | 1,4 (0,26) | 3,3 (0,51) | 5,0 (0,30) | 4,5 (0,19) | 4,3 (0,30) | 2,5 (0,29) |
| Zircônia colorida | NPZRC | Com | 1,2 (0,52) | 0,8 (0,22) | 1,6 (0,18) | 1,2 (0,09) | 1,1 (0,19) | 1,1 (0,16) | 1,0 (0,14) | 1,5 (0,11) |
| | | Sem | 3,9 (1,43) | 4,5 (1,04) | 3,6 (1,12) | 4,0 (1,25) | 4,5 (0,78) | 4,4 (0,65) | 4,4 (0,92) | 4,1 (1,31) |
| | ZZRTC | Com | 3,3 (2,20) | 3,3 (1,97) | 3,3 (2,03) | 3,4 (1,96) | 3,1 (2,04) | 3,2 (2,10) | 3,2 (1,97) | 3,5 (1,68) |
| | | Sem | 3,1 (0,78) | 4,4 (0,55) | 2,6 (0,99) | 3,4 (0,67) | 4,0 (0,71) | 3,9 (0,64) | 3,9 (0,63) | 2,9 (1,01) |
| | ZZRPC | Com | 2,3 (1,05) | 2,4 (0,79) | 2,3 (1,40) | 2,2 (0,83) | 2,5 (0,86) | 2,2 (0,94) | 2,4 (0,86) | 2,3 (0,68) |
| | | Sem | 3,8 (0,48) | 5,2 (0,51) | 2,7 (0,57) | 3,8 (0,47) | 4,8 (0,39) | 4,5 (0,45) | 4,5 (0,30) | 3,7 (0,45) |

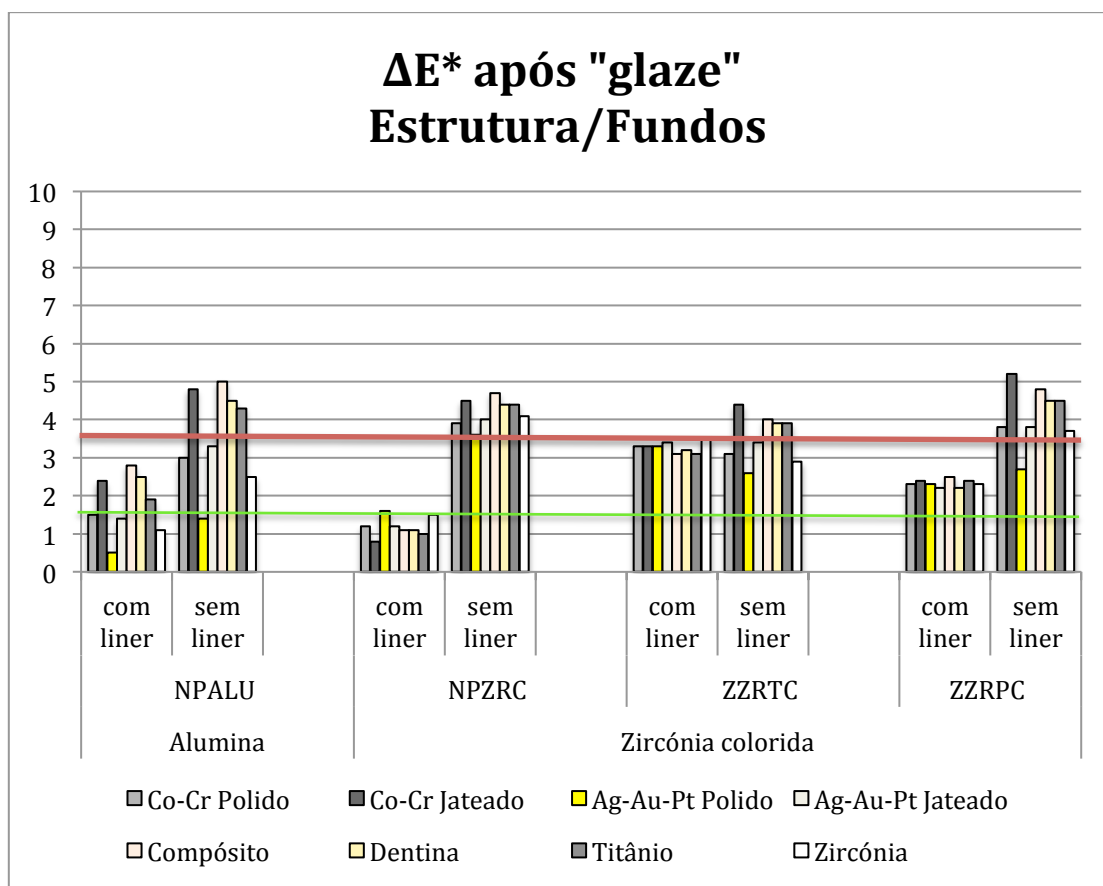


Figura 4. 5 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura após etapa de "glaze", sobre oito fundos (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica e linha verde limite de percepção).

Após a aplicação de "glaze", verificou-se que apenas a infraestrutura NPZRC com "liner" registou valores de $\Delta E^* \leq 1,6$ para todos os fundos. NPALU também registou valores dentro desse limite em quatro dos fundos (Co-Cr polido, Ag-Au-Pt polido, Ag-Au-Pt jateado e zircónia) quando foi utilizado "liner", mas apenas para o fundo Ag-Au-Pt polido quando este não foi utilizado. Nos grupos onde não foi utilizado "liner" registaram-se valores de $\Delta E^* > 3,7$ o que não aconteceu com os grupos onde foi utilizado "liner". Entre todos os materiais de estrutura, ZZRTC foi o único que não registou valores mais elevados de ΔE^* para todos os fundos, quando não foi utilizado "liner", tendo registado valores mais baixos para os fundos Co-Cr polido, Ag-Au-Pt polido e zircónia.

De seguida procedeu-se à análise da influência da utilização de cerâmica

de "liner", não entrando em linha de conta com o tipo de cerâmica de infraestrutura utilizado, que revelou que, com exceção do fundo Ag-Au-Pt polido ($p=0,072$), a utilização do "liner" permitiu obter valores de ΔE estatisticamente ($p<0,001$) inferiores aos obtidos sem "liner".

No entanto, a influência do "liner" sobre o ΔE^* variou de acordo com o material de infraestrutura utilizado. Para as infraestruturas NPALU e NPZRC, a influência do "liner" revelou-se estatisticamente significativa ($p=0,008$) para todos os fundos. Com a infraestrutura ZZRPC, verificou-se que a influência do "liner" era estatisticamente significativa ($p<0,05$) para todos os fundos, com exceção do fundo Ag-Au-Pt polido ($p=1,000$). Por fim, com o material ZZRTC não se encontraram diferenças ($p>0,05$) entre a aplicação ou não do "liner", em nenhum dos fundos. A influência da aplicação de "liner" para cada um dos materiais de infraestrutura encontra-se representado nas figuras 4.6 a 4.9.

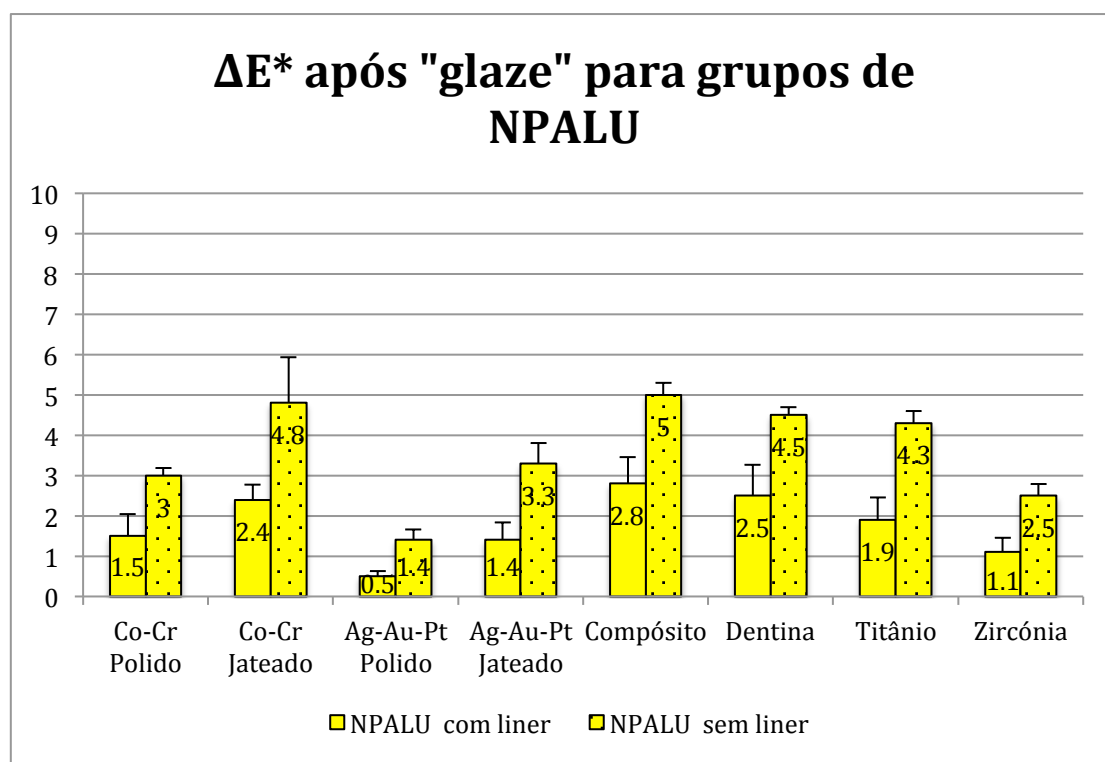


Figura 4. 6 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de NPALU sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

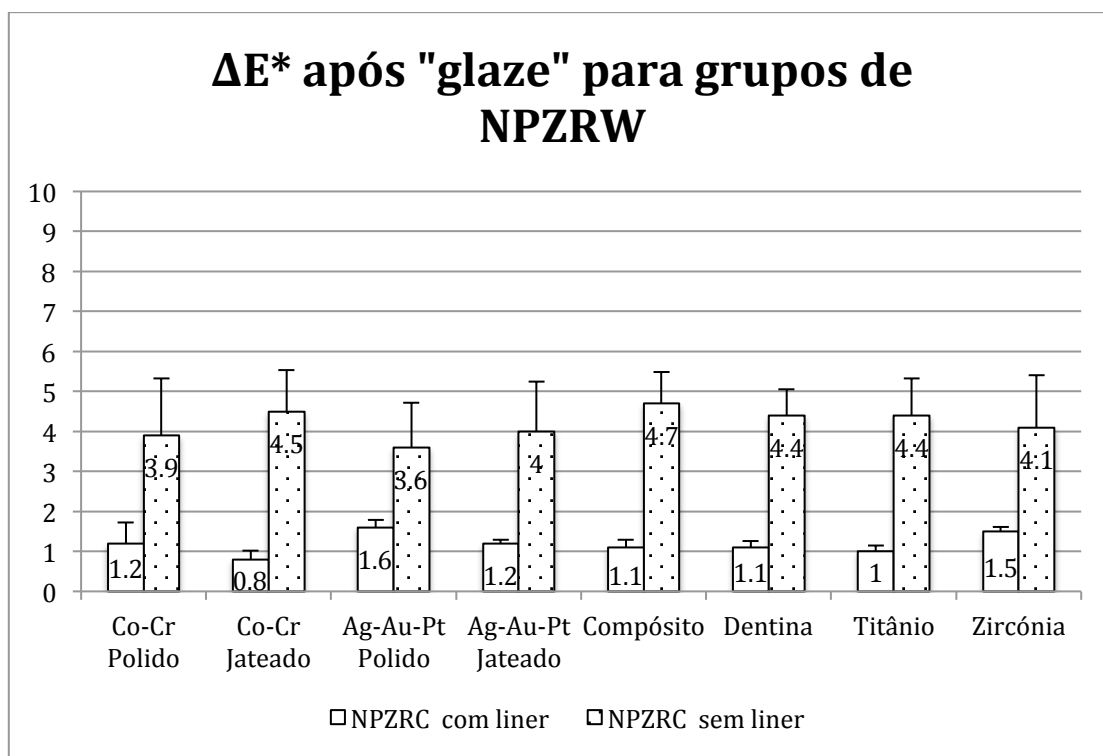


Figura 4. 7 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de NPZRW sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

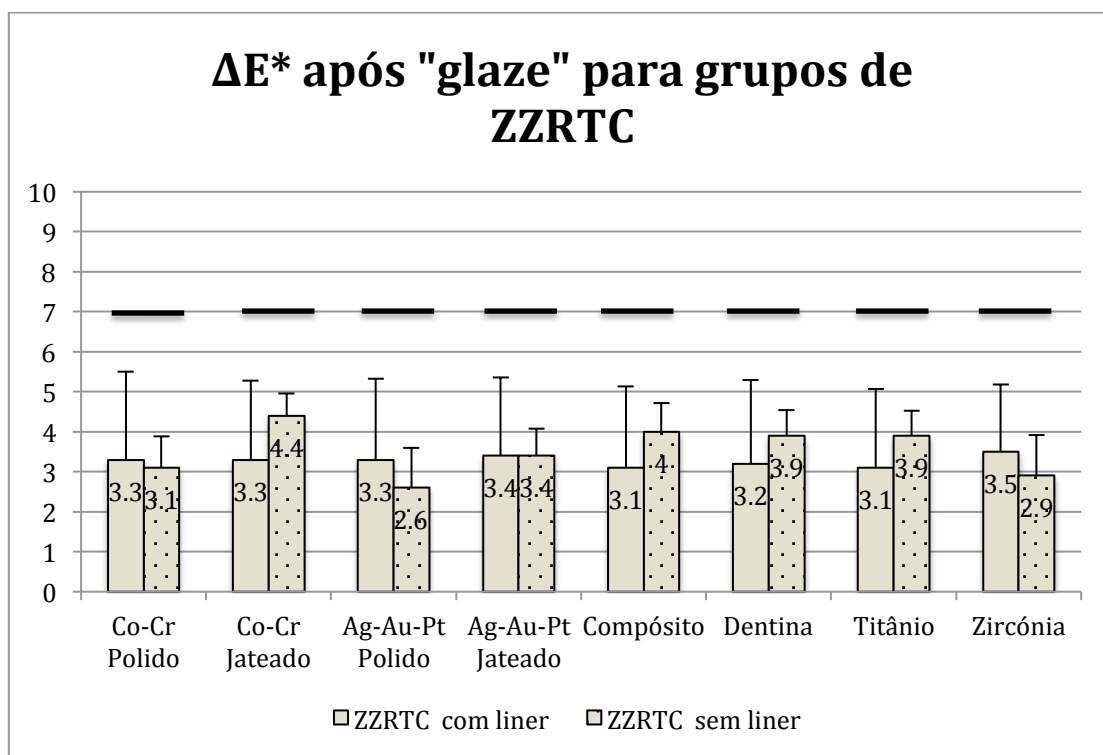


Figura 4. 8 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de ZZRTC sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

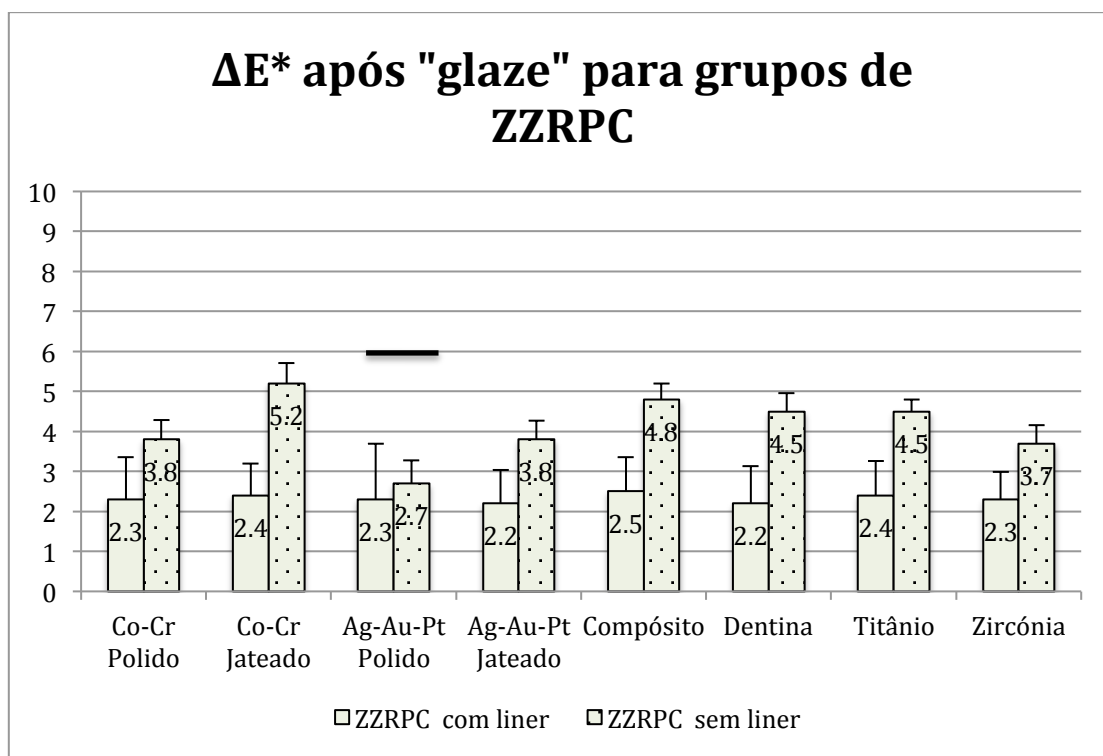


Figura 4. 9 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de ZZRPC sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

A influência dos fundos no ΔE^* variou também de acordo com a aplicação ou não de cerâmica "liner" durante a construção dos espécimes. Para o grupo de espécimes com "liner" não se observou influência estatisticamente significativa ($p=0,918$) dos fundos sobre o ΔE^* . Ao contrário, o ΔE^* dos espécimes sem "liner" foi estatisticamente muito influenciado ($p<0,001$) pelos fundos utilizados.

4.5 DISCUSSÃO

Os técnicos de prótese dentária têm hoje ao seu dispor a possibilidade de optar entre a utilização de estruturas de zircônia branca ou colorida. A escolha de estruturas coloridas é muitas vezes opção porque a cor branca da zircônia pode dificultar a obtenção de restaurações com baixo valor (luminosidade, brilho). Contudo, Aboushelib et al. (2010) concluíram que a utilização de zircônia

pré-colorida não oferecia qualquer vantagem em relação à zircónia tradicional uma vez que, segundo eles, a zircónia colorida necessitava da utilização de cerâmica de “liner” ou de dentinas cromatizadas para conseguir alcançar a cor pretendida nas restaurações enquanto que a zircónia branca só com a aplicação de dentina alcançava um $\Delta E^* < 2,2$. É de referir que nesse estudo a cor alvo foi A1, sendo esta a cor mais clara da escala VITA, podendo por isso a cor branca da infraestrutura ter tipo um papel importante para o resultado alcançado.

Dada a diversidade e particularidade das cores que é necessário reproduzir, as cerâmicas de “liner” foram inicialmente propostas para compensar o efeito negativo que a cor branca da zircónia poderia ter nas restaurações ajudando a criar uma cor base mais favorável (Devigus et al., 2004; Lee et al., 2007). Apesar dos benefícios que este tipo de cerâmica parece acrescentar, nem todos os fabricantes de cerâmica optaram por comercializá-la, por entenderem que a pigmentação das estruturas é suficiente para condicionar a sua cor base e permitir a obtenção de resultados estéticos aceitáveis.

No presente estudo pretendeu-se esclarecer se a utilização de estruturas pigmentadas por si era suficiente para atingir um resultado estético aceitável, ou se a utilização de cerâmica de “liner” poderia potenciar melhores resultados na obtenção da cor ideal de uma restauração.

4.5.1 Influência da cerâmica de “liner” na transmitância

Os resultados obtidos demonstram que a aplicação de cerâmica de “liner” diminui significativamente a transmitância de todas as estruturas coloridas estudadas. Rejeita-se assim a hipótese nula formulada, uma vez que se verifica existir influência da aplicação desta camada de cerâmica na diminuição de %T.

A diferença de %T observada entre os grupos não pode ser atribuída ao facto de haver uma variação de espessura da cerâmica de recobrimento por incorporação da camada de cerâmica de “liner”, uma vez que a espessura final dos espécimes é a mesma. A diferença tem de ser atribuída à diferença de composição química entre a cerâmica de “liner” e a cerâmica de dentina, que acrescenta à primeira maior opacidade, diminuindo assim a translucidez da restauração. A importância da composição química na translucidez das

cerâmicas encontra-se bem descrita na literatura, sendo consensual que a translucidez está muito dependente do efeito de dispersão da luz e que este é altamente influenciado pela dimensão e quantidade dos cristais que compõem o material cerâmico tanto da infraestrutura como das cerâmicas de recobrimento (Kingery et al., 1976; Brodbelt et al., 1980; Clarke, 1983; Binns, 1983; Ding et al., 1999; Heffernan et al., 2002).

4.5.2 Influência da cerâmica de “liner” na cor

Os resultados obtidos mostraram que a utilização de cerâmica de “liner” permitiu que todos os grupos atingissem valores de $\Delta E^* < 3,7$ (dentro do limite de aceitabilidade clínica), ao contrário do que aconteceu com os grupos onde não foi utilizado “liner”, tendo o material NPZRC apresentado o melhor comportamento registando valores de $\Delta E^* < 1,6$ (dentro do limite de imperceptibilidade) para todos os fundos. Estes resultados estão de acordo com a literatura já referida anteriormente (Aboushelib et al., 2010). NPZRC foi também o material mais afectado pela não utilização de “liner” tendo registado valores de $\Delta E^* > 3,7$ para sete dos oito fundos estudados (exceção do fundo Ag-Au-Pt polido).

A utilização de cerâmica de “liner” em geral fez baixar os valores de ΔE^* em todos os fundos, com excepção de Ag-Au-Pt polido. Este fundo é entre todos o que apresenta uma cor amarela mais intensa e também uma superfície polida altamente refletora, susceptível de apresentar maior influência para a cor alvo D3 quando não é utilizado “liner” e podendo variar de acordo com a coloração da infraestrutura. Para este fundo as infraestruturas de ZZRTC e ZZRPC que sofreram o mesmo tipo de coloração e apresentam a mesma cor base (D3 VITA) não registaram diferenças estatisticamente significativas enquanto que NPALU e NPZRC que apresentam cor diferente desta registaram essas diferenças. Spyropoulou et al. (2011) haviam referido que as três colorações de zircónia do sistema Nobel Procera não afetavam a translucidez capaz de ser detetada pelo olho humano e que tinham uma cor base que coincidia com a cor da cerâmica de recobrimento a ser aplicada na realização das restaurações. Estas conclusões tinham sido tiradas na ausência de cerâmica de recobrimento, percebendo-se agora que esse resultado só é possível com alguns fundos, pelo menos com o

sistema de cerâmica de recobrimento investigado, quando se utiliza cerâmica de “liner”.

A influência da cerâmica de “liner” na diferença de ΔE^* depende também do tipo de material de infraestrutura. A sua utilização introduziu diferenças significativas de ΔE^* nos materiais NPALU e NPRZC, em todos os fundos. No material ZZRPC só não se registaram diferenças significativas no fundo Ag-Au-Pt polido. O único material que não registou diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos fundos foi ZZRTC. Para este material a não utilização de cerâmica de “liner” fez diminuir o valor de ΔE^* nos fundos Co-Cr polido, Ag-Au-Pt polido e zircónia. Estes três fundos são precisamente aqueles que apresentam maior brilho (luminosidade ou valor). A ZZRTC foi a estrutura que apresentou os valores de ΔE^* mais elevados, próximos do limite máximo de aceitabilidade clínica, quando se utilizou a cerâmica de “liner”, mostrando por isso um comportamento diferente dos outros materiais de infraestrutura.

Os materiais ZZRTC e ZZRPC são diferentes na sua composição química e são processados com ciclos de sinterização diferentes, mas foram coloridos de igual forma relativamente à técnica de pigmentação e ao pigmento utilizado. Contudo esta pigmentação é feita manualmente e a quantidade de pigmento aplicada pelo técnico que faz o procedimento pode alterar a sua intensidade de cor, não sendo suscetível de se poder controlar a translucidez observada, como foi mencionado por Hee-Kiung et al. (2014). Verificou-se que os dois materiais apresentaram comportamento diferente, o que não é surpreendente relativamente à sua diferença estrutural. No entanto, no estudo de transmitância verificou-se que o material ZZRTC registou menores valores de %T do que o material ZZRPC, o que faria supor que este último pudesse apresentar maior influência dos fundos, em particular aqueles que apresentem maior brilho. No entanto o resultado registado foi o oposto sendo por isso surpreendente que o material menos translúcido tenha sido precisamente aquele onde os referidos fundos influenciaram a diminuição do ΔE^* , indiciando que este material poderá ser mais susceptível a alterações estruturais que possam ter interação com as propriedades de cor.

Relativamente à influência dos fundos pode afirmar-se que de um modo geral quando é utilizada cerâmica de “liner” estes não têm uma influência na

diferença de ΔE^* observado, verificando-se a sua influência quando o “liner” não é utilizado. Nesta última situação a cor base da estrutura e a sua translucidez são determinantes para as alterações cromáticas que se registaram (Stevenson et al., 2010; Suputtamongkol et al., 2013)

Apesar dos evidentes benefícios que a utilização de “liner” tem para as propriedades de cor das restaurações, estudos mostraram que a utilização de cerâmica de “liner” poderia ser um fator ou co-fator na delaminação entre a cerâmica de recobrimento e a estrutura (Aboushelib et al., 2010). Por isso a sua utilização deverá ser feita com precaução enquanto os possíveis efeitos nocivos em termos de resistência não forem devidamente esclarecidos. Nesse sentido seria importante investigar melhor esta temática dada a sua importância para as propriedades óticas destes sistemas cerâmicos.

Rejeitam-se assim todas as hipóteses nulas formuladas, uma vez que se verifica existir influência da utilização de cerâmica de “liner” no valor de ΔE^* nos materiais e nos fundos estudados.

4.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir:

1. A cerâmica de “liner” influenciou a percentagem de transmissão de luz. A utilização deste tipo de cerâmica diminui a transmitância das restaurações.
2. A aplicação de cerâmica de “liner” influenciou a cor das restaurações. De uma forma geral, a utilização de cerâmica de “liner” diminui o ΔE^* das restaurações. O liner apenas não influenciou o ΔE^* com infraestrutura de ZZRTC.
3. O fundo influencia a cor das restaurações. No entanto, essa influência apenas se verificou nos espécimes sem cerâmica de “liner”.

5 Influência da alteração do protocolo de queima na transmitância e na cor das restaurações

5.1 INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas em restaurações com estruturas de zircônia tem sido a fratura e/ou delaminação (“chipping” ou “crazing”) da cerâmica de recobrimento (Sailer et al., 2006; 2009) que nos estudos publicados ao longo dos tempos tem sido bastante superior ao observado nas restaurações de metalocerâmica (Denry et al., 2008; Zarone et al., 2011). A investigação para apurar as suas causas tem-se centrado em vários fatores, tais como o desajuste de coeficientes de expansão térmica entre as cerâmicas de estrutura e de recobrimento (Fischer et al., 2009) ou as tensões residuais (Lawn et al., 2007). Para além destes, a fratura da cerâmica de recobrimento pode ser também influenciada pelos tempos de arrefecimento (Rues et al., 2010; Miyazaki et., 2013) e pela baixa condutividade térmica da zircônia (Dittmer et al., 2009).

A zircônia apresenta uma difusão térmica baixa, sendo lenta a ajustar a sua temperatura à temperatura em seu redor. A zircônia apresenta uma condutividade térmica ligeiramente inferior à da alumina e substancialmente mais baixa do que as cerâmicas vítreas (Swain et al., 1986; Piddock et al., 1989; Tan et al., 2012). Para além disso, a condutividade térmica da zircônia é dependente da temperatura, baixando substancialmente à temperatura de queima da cerâmica de recobrimento (Swain et al., 1986; Tan et al., 2012). A condutividade térmica é também dependente da densidade, ou seja, uma

zircónia menos densamente sinterizada e com menor densidade terá menor condutividade térmica (Swain et al., 1986; Tan et al., 2012).

Apesar das cerâmicas comercializadas para serem aplicadas sobre estruturas de zircónia (CET de aproximadamente $10,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ no intervalo de 25°C - 500°C) apresentarem um coeficiente de expansão térmico apropriado (variando normalmente até uma unidade para baixo - $9,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$), mas diferente entre os vários fabricantes, durante as queimas de cerâmica de recobrimento ocorrem tensões internas dentro do material porque este aumenta e diminui de temperatura mais rapidamente do que a infraestrutura. As tensões residuais no interior das restaurações podem ser responsáveis por muitas das falhas clínicas que estas restaurações apresentam (Tan et al., 2012) e acontecem porque o arrefecimento da cerâmica de revestimento faz-se de uma forma mais lenta na face interna que está em contacto com a estrutura que na superfície externa.

Com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas tem sido proposto na literatura alterar o método de sinterização, para dar tempo para uma alteração de temperatura mais gradual, sendo recomendada a utilização como rotina de ciclos de temperatura com incremento lento e arrefecimento também lento (Tan et al., 2012; Miyazaki et al., 2013). Estes ciclos de sinterização a temperaturas entre 750 - 1000°C e o consequente arrefecimento da restauração são executados pelo menos uma vez, mas habitualmente entre duas e cinco vezes (Øilo et al., 2008; Miyazaki et al., 2013). Se o efeito dos ciclos de temperatura e do seu incremento durante o processo de fabricação das infraestruturas não pode ser ignorado pelas alterações que provoca na estrutura e nas suas propriedades, quer mecânicas quer óticas (Chen et al., 2010; Choi et al., 2011), na cerâmica de recobrimento é também susceptível que estes ciclos alterem a sua composição e estrutura por estas serem essencialmente cerâmicas vítreas (Miyazaki et al., 2013). É aliás sabido que a cor das restaurações é afetada pelo ciclo de queima (temperatura/incremento) (Sailer et al., 2007; Ozturk et al., 2008; Souza et al., 2009, Li et al., 2009), sabendo-se ainda que a estabilidade de cor dos sistemas com estrutura de cerâmica sujeitos a várias queimas de sinterização tem apresentado resultados clinicamente aceitáveis (Uludag et al., 2007; Ozturk et al., 2008; Celik et al., 2008). No entanto já foram encontradas

diferenças perceptíveis de cor para um dos sistemas investigados (Ozturk et al., 2008; Sahin et al., 2010)

Na literatura encontram-se trabalhos recentes que investigam o efeito da alteração do protocolo de queima nas propriedades mecânicas das restaurações (Komine et al., 2010; Guazzato et al., 2010; Gostemeyer et al., 2010; Tan et al., 2012). Na mesma literatura é referido que dados de comparação sobre o efeito dos protocolos de queima são escassos (Tan et al., 2012). Não é portanto surpresa não se encontrarem estudos que investiguem o efeito da alteração do protocolo de queima nas propriedades óticas dos sistemas cerâmicos que utilizam estruturas de alumina ou zircónia, justificando-se assim a importância deste trabalho.

5.2 OBJETIVOS

Este estudo pretendeu avaliar a influência da alteração do protocolo de queima na transmissão direta de luz de restaurações estratificadas por técnica convencional com diferentes infraestruturas (NPALU, NPZRW, ZZRTW e ZZRPC) e na diferença de cor das mesmas restaurações sobre diferentes fundos (liga CoCr-polido; liga CoCr-jateado; liga Au-polida; liga Au-jateada; compósito; dentina; titânio e zircónia). Formularam-se os seguintes objetivos com as respetivas hipóteses experimentais:

1- Analisar a influência do protocolo de queima na transmissão direta de luz de restaurações com infraestruturas cerâmicas de alta resistência.

H0: O protocolo de queima não influencia a transmitância.

H1: O protocolo de queima influencia a transmitância.

2- Analisar a influência do protocolo de queima na diferença de cor das restaurações.

H0: O protocolo de queima não influencia a diferença de cor das restaurações .

H1: O protocolo de queima influencia a diferença de cor das restaurações.

3- Analisar a influência do fundo na diferença de cor das restaurações.

H0: O fundo não influencia a diferença de cor das restaurações realizadas com os dois protocolos de queima.

H1: O fundo influencia a diferença de cor das restaurações realizadas com os dois protocolos de queima.

5.3 Materiais e métodos

Tendo por base um estudo piloto, a dimensão da amostra (n=5) foi estimada com uma análise de potência de 80%, de forma a garantir significância estatística ($\alpha = 0,05$).

Foram obtidos discos de cerâmica de 12 mm de diâmetro e 0,4 mm de espessura, de forma idêntica ao descrito nos estudos anteriores. Foram testados os seguintes materiais de infraestrutura: alumina (NPALU), zircónia branca (NPZRW e ZZRTW) e também zircónia colorida em D3 (ZZRPC) (Fig. 5.1). Para cada material foram utilizados dois protocolos de sinterização da cerâmica de revestimento, um de acordo com o fabricante e o outro designado por alternativo. Os oito grupos experimentais são apresentados na tabela 5.1.

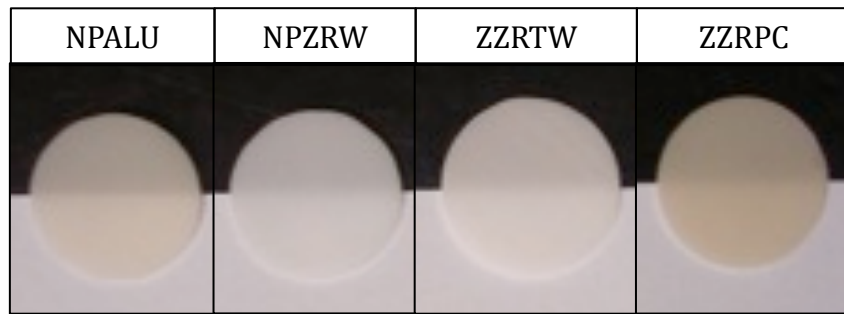


Figura 5. 1 – Materiais de infraestrutura utilizados.

Tabela 5. 1 - Grupos experimentais.

| | Alumina NobelProcera | Zirconia branca NobelProcera | Zircónia Translucida branca Zirkonzahn | Zircónia Prettau Colorida Zirkonzahn |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|---|---|
| Protocolo do fabricante | NPALU | NPZRW | ZZRTW | ZZRPC |
| Protocolo alternativo | NPALU | NPZRCW | ZZRTW | ZZRPC |

Os espécimes dos grupos sujeitos ao protocolo alternativo foram manipulados da forma já descrita no ponto 2 secção 2.1 para os materiais da Nobel Procera e no ponto 3 secção 3.1 para os materiais da Zirkonzahn apenas sendo alterados os parâmetros do forno de cerâmica, tendo sido utilizados os mesmos espécimes utilizados no estudo do ponto 3 para os grupos do protocolo do fabricante. No forno de cerâmica foram alterados os parâmetros de incremento de temperatura, que foi reduzido em 10⁰C e por isso fez aumentar o tempo para atingir a temperatura final de sinterização, e de arrefecimento, fazendo-se um arrefecimento lento, com abertura gradual do forno até serem atingidos 650⁰C, ao contrário da abertura imediata do forno provocando um arrefecimento rápido proposto pelo fabricante. Os dois protocolos de queima são apresentados na tabela 5.2 para os dois tipos de materiais de estrutura utilizados, alumina e zircónia.

Tabela 5. 2 – Protocolos de queima utilizados.

| | NobelRondo Alumina | | NobelRondo Zircónia | |
|------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| | Protocolo Fabricante | Protocolo <u>Alternativo</u> | Protocolo Fabricante | Protocolo <u>Alternativo</u> |
| Pré-aquecimento | 575 ⁰ C | 575 ⁰ C | 575 ⁰ C | 575 ⁰ C |
| Secagem | 8 min | 8 min | 8 min | 8 min |
| Incremento | 55 ⁰ C/min | <u>45⁰C/min</u> | 45 ⁰ C/min | <u>35⁰C/min</u> |
| Temperatura: | | | | |
| Liner | 930 ⁰ C | 930 ⁰ C | 930 ⁰ C | 930 ⁰ C |
| Dentina | 910 ⁰ C | 910 ⁰ C | 910 ⁰ C | 910 ⁰ C |
| Incisal | 900 ⁰ C | 900 ⁰ C | 900 ⁰ C | 900 ⁰ C |
| Glaze | 880 ⁰ C | 880 ⁰ C | 880 ⁰ C | 880 ⁰ C |
| Vácuo: | | | | |
| Liner/Dentina/Incisal | 50 hPa | 50 hPa | 50 hPa | 50 hPa |
| Glaze | 0 hPa | 0 hPa | 0 hPa | 0 hPa |
| Manutenção | 1 min | 1 min | 1 min | 1 min |
| Arrefecimento | 0 min | <u>650⁰C</u> | 0 min | <u>650⁰C</u> |

A espessura das camadas de cerâmica, a espessura final do espécime e a cor utilizada foram as mesmas utilizadas no estudo do ponto 2, já descritas na secção 2.3.1.2.

Nos ensaios de espectrofotometria de transmissão e de reflexão foram aplicados as mesmas metodologias descritas para os estudos dos pontos 2, 3 e 4.

5.3.1- Análise estatística

Os dados obtidos foram inseridos numa base de dados e analisados estatisticamente com uma aplicação informática comercial - SPSS para MAC, versão 21.0 (SPSS Ins, Chicago, IL, USA).

Foi efetuada a estatística descritiva dos valores de transmitância (%T) e de diferença de cor (ΔE^*) obtida a partir de dados CIELCh*. Para cada grupo experimental foi calculada a média e o desvio padrão na etapa de estrutura e na etapa de “glaze”.

Por não se ter verificado a normalidade de distribuição da amostra com o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$), foram utilizados testes estatísticos não paramétricos para a análise dos dados de transmitância e de ΔE^* obtidos após a aplicação do “glaze”.

A influência do protocolo de sinterização sobre a transmitância e a cor das restauração, após a aplicação do “glaze”, foi avaliada recorrendo a testes não paramétricos segundo Mann-Whitney.

A influência do fundo sobre a cor obtida para cada técnica de sinterização foi analisada com testes não paramétricos para medições repetidas, ANOVA de duas vias às ordens segundo Friedman.

Para todos os testes estatísticos foi fixada uma significância estatística de 5% ($\alpha = 0,05$).

5.4 RESULTADOS

5.4.1 Espectrofotometria de transmissão

Os valores médios e o desvio padrão de %T, no intervalo do espectro visível considerado (380-800 nm), bem como a diferença entre as duas etapas, encontram-se descritos na tabela 5.3 e representados na figura 5.2, segundo os diferentes grupos experimentais constituídos entre o tipo de material de estrutura e os protocolos de queima, para as etapas de estrutura e de “glaze”.

Tabela 5. 3 – Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão (DP) de cada grupo em cada etapa, bem como a diferença em % entre as duas etapas (n=5).

| Material | | Protocolo de queima | Estrutura Média (DP) | Glaze Média (DP) | Diminuição Estrutura/"Glaze" |
|-------------|-------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Alumina | NPALU | Fabricante | 1,40 (0,215) | 0,36 (0,015) | 74% |
| | NPALU | <u>Alternativo</u> | 1,39 (0,082) | 0,39 (0,013) | 72% |
| Zr Branca | NPZRW | Fabricante | 0,71 (0,007) | 0,21 (0,007) | 70% |
| | NPZRW | <u>Alternativo</u> | 0,73 (0,008) | 0,24 (0,008) | 67% |
| | ZZRTW | Fabricante | 0,76 (0,004) | 0,20 (0,021) | 74% |
| | ZZRTW | <u>Alternativo</u> | 0,76 (0,004) | 0,24 (0,007) | 68% |
| Zr Colorida | ZZRPC | Fabricante | 0,69 (0,024) | 0,22 (0,014) | 68% |
| | ZZRPC | <u>Alternativo</u> | 0,72 (0,010) | 0,24 (0,015) | 67% |

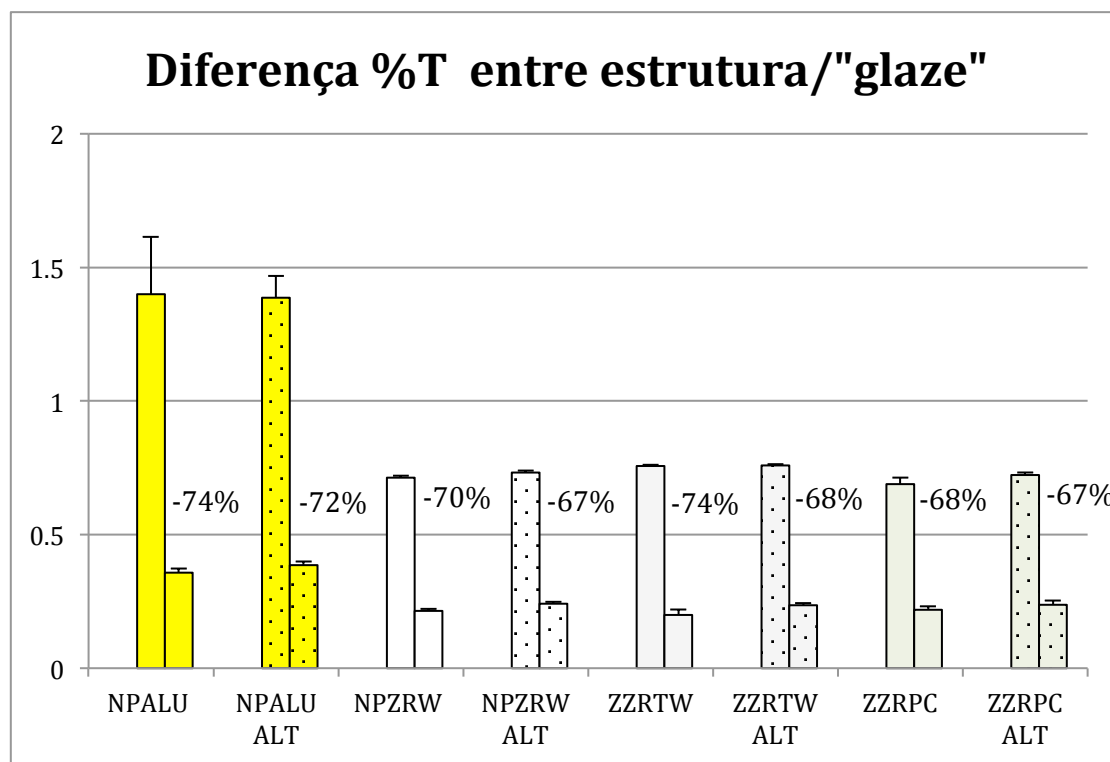


Figura 5. 2- Diferença de % média de transmitância entre as etapas de estrutura e de "glaze", para os grupos de materiais nos dois protocolos de queima.

A análise aos resultados da etapa de “glaze” revelaram que a %T foi mais elevada em todos os grupos de protocolo alternativo em comparação com os respetivos grupos de protocolo do fabricante. A %T foi praticamente constante ($\approx 0,24\%$) para todas as zircónias no protocolo alternativo (figura 5.3).

A análise inferencial dos dois protocolos para cada um dos materiais de infraestrutura permitiu verificar que a influência do protocolo de queima sobre a transmitância da restauração estava dependente do tipo de material considerado. Para NPALU, NPZRW e ZZRTW, o protocolo alternativo permitiu obter valores de transmitância estatisticamente ($p=0,008$) mais elevados que os obtidos com o protocolo de sinterização preconizado pelo respetivo fabricante. Para o material ZZRPC não foram encontradas diferenças com significado estatístico ($p=0,095$) entre os dois protocolos de queima (figura 5.3).

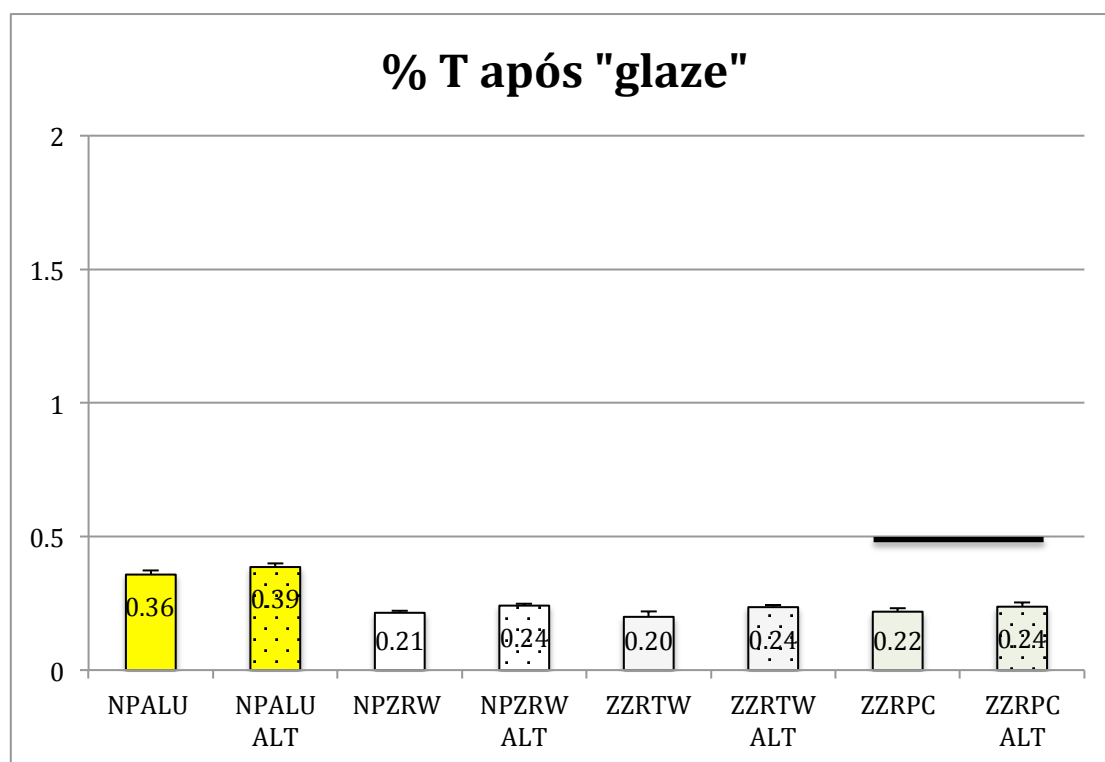


Figura 5. 3 - % média de transmitância de cada grupo na etapa de “glaze” (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

As diferenças entre os grupos sinterizados com o protocolo do fabricante e com o protocolo alternativo são observáveis nas curvas espectrais obtidas com os espécimes de cada grupo que apresentaram o valor médio de %T mais próximo da média do grupo (Figura 5.4).

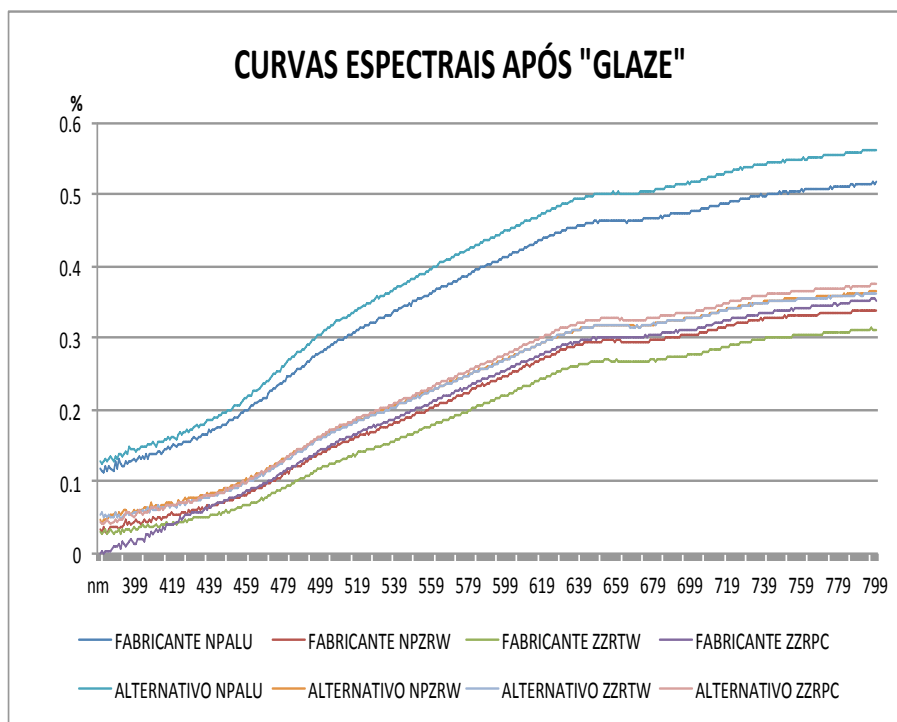


Figura 5. 4 - Curvas espectrais após "Glaze", de grupos sinterizados com protocolo do fabricante e com protocolo alternativo, obtidas com o espécime com valor de %T mais aproximado à média do grupo.

5.4.2 Espectrofotometria de reflexão

Os valores médios e o desvio padrão de ΔE^* de cada grupo na etapa de glaze encontram-se descritos na tabela 5.4 para os dois protocolos de queima, respectivamente para cada fundo.

Tabela 5. 4 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão (DP) de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5).
(Valores a vermelho - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a verde - $\Delta E^* \leq 1,6$)

| Valores de ΔE* na etapa de “glaze” | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----|--------------|---------------|-----------------|------------------|------------|------------|------------|------------|
| Fundo | | | Co-Cr Polido | Co-Cr Jateado | Ag-Au-Pt Polido | Ag-Au-Pt Jateado | Compósito | Dentina | Titânio | Zircónia |
| | | | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) | Média (DP) |
| Material/Protocolo | | | | | | | | | | |
| Alumina | NPALU | Fab | 1,5 (0,54) | 2,4 (0,37) | 0,5 (0,13) | 1,4 (0,43) | 2,8 (0,65) | 2,5 (0,76) | 1,9 (0,56) | 1,1 (0,36) |
| | | Alt | 1,7 (0,59) | 2,7 (0,95) | 1,2 (0,52) | 2,1 (0,46) | 3,0 (0,43) | 2,8 (0,42) | 2,9 (0,39) | 2,0 (0,70) |
| Zircónia Branca | NPZRW | Fab | 1,1 (0,46) | 0,5 (0,08) | 1,5 (0,29) | 0,9 (0,54) | 0,9 (0,40) | 0,8 (0,19) | 0,7 (0,25) | 1,5 (0,33) |
| | | Alt | 2,4 (0,89) | 2,4 (0,55) | 2,5 (0,86) | 2,1 (0,67) | 2,5 (1,10) | 2,4 (0,91) | 2,1 (0,57) | 2,4 (0,65) |
| | ZZRTW | Fab | 2,5 (0,36) | 2,0 (0,36) | 2,3 (0,56) | 2,4 (0,41) | 2,2 (0,34) | 2,2 (0,57) | 2,3 (0,56) | 2,4 (0,41) |
| | | Alt | 3,7 (1,76) | 3,3 (2,07) | 3,4 (1,59) | 3,3 (1,69) | 3,1 (1,87) | 3,3 (1,86) | 3,0 (1,92) | 4,0 (1,52) |
| Zircónia colorida | ZZRPC | Fab | 2,3 (1,05) | 2,4 (0,79) | 2,3 (1,40) | 2,2 (0,83) | 2,5 (0,86) | 2,2 (0,94) | 2,4 (0,86) | 2,3 (0,68) |
| | | Alt | 2,6 (0,98) | 2,5 (0,78) | 2,6 (1,04) | 2,2 (0,83) | 2,8 (0,90) | 2,8 (1,13) | 3,0 (1,14) | 2,6 (1,04) |

Após a etapa de “glaze” verificou-se que todos os grupos registaram $\Delta E^* < 3,7$ para todos os fundos com exceção de ZZRTW sobre o fundo zircónia quando foi utilizado o protocolo alternativo. No material NPALU apenas sobre o fundo Ag-Au-Pt polido se registaram valores de $\Delta E^* < 1,6$ com os dois protocolos de queima. Entre os grupos de zircónia apenas NPZRW registou valores de $\Delta E^* < 1,6$, o que aconteceu com o protocolo do fabricante e para todos os fundos, tendo ultrapassado esse limite quando foi utilizado o protocolo alternativo, também para todos os fundos. Para alguns dos fundos registaram-se neste material valores de $\Delta E_{ab}^* > 2$, sendo por isso perceptível essa alteração. Os valores de ΔE^* registados no grupo NPZRW com protocolo alternativo foram aproximados dos valores de ZZRTW com protocolo do fabricante. Para este último, registaram-se variações de $\Delta E_{ab}^* < 1,6$ tal como para os grupos de NPALU e ZZRPC para todos os fundos e por isso imperceptíveis (figura 5.5).

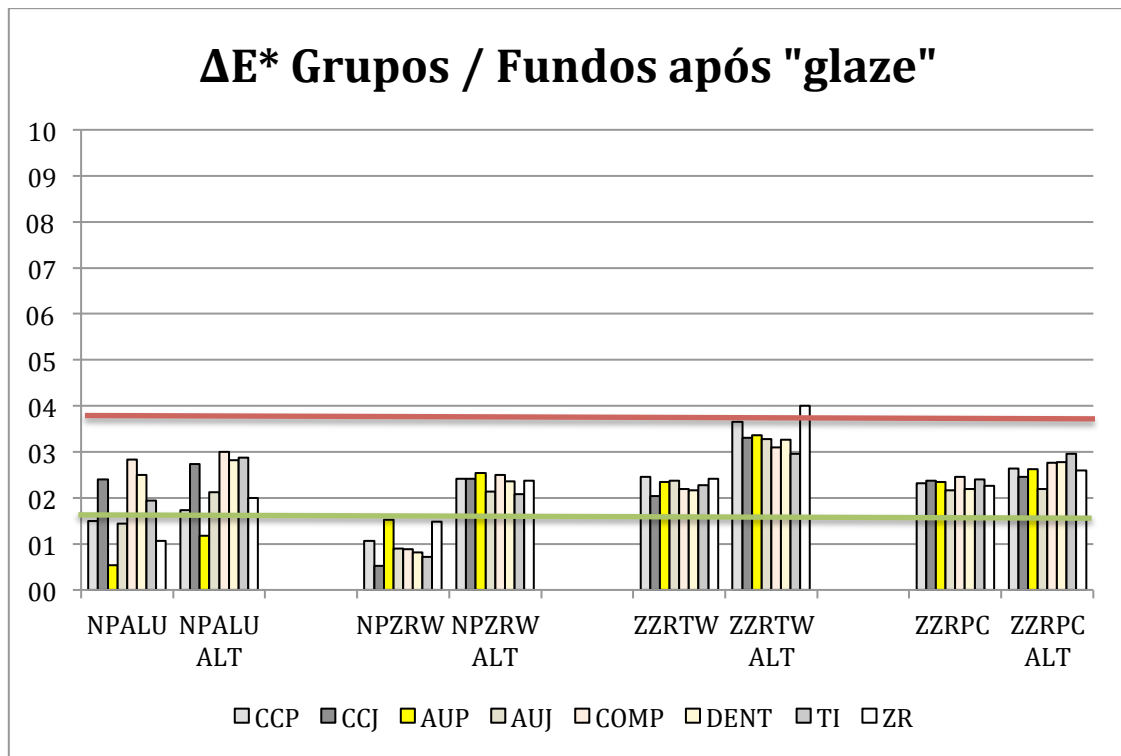


Figura 5. 5 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura após etapa de "glaze", sobre oito fundos, nos dois protocolos de queima (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica e linha verde limite de percepção).

Recorrendo a testes estatísticos não paramétricos segundo Mann-Whiney, foi possível observar, tal como já tinha acontecido com a transmitância, que a influência do protocolo de sinterização sobre o ΔE^* esteve dependente do tipo de material de infraestrutura considerado.

Para NPZRW, a utilização do protocolo alternativo resultou num aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) de ΔE^* para todos os fundos, com exceção do fundo de Au-polido, em que não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p = 0,095$) entre os dois protocolos de sinterização. Ao contrário, com o ZZRPC não se verificaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os protocolos para nenhum dos fundos. Com as infraestruturas NPALU e ZZRTW, foram obtidos resultados similares ao ZZRPC, uma vez que com exceção de um dos fundos não se observaram diferenças ($p > 0,05$) entre os

protocolos testados. Para estas duas infraestruturas, o protocolo alternativo apresentou valores de ΔE^* superiores aos do protocolo recomendado pelo respetivo fabricante, no fundo de titânio para NPALU ($p=0,032$) e no fundo de zircónia para o ZZRTW ($p=0,032$) (figuras 5.6 a 5.9).

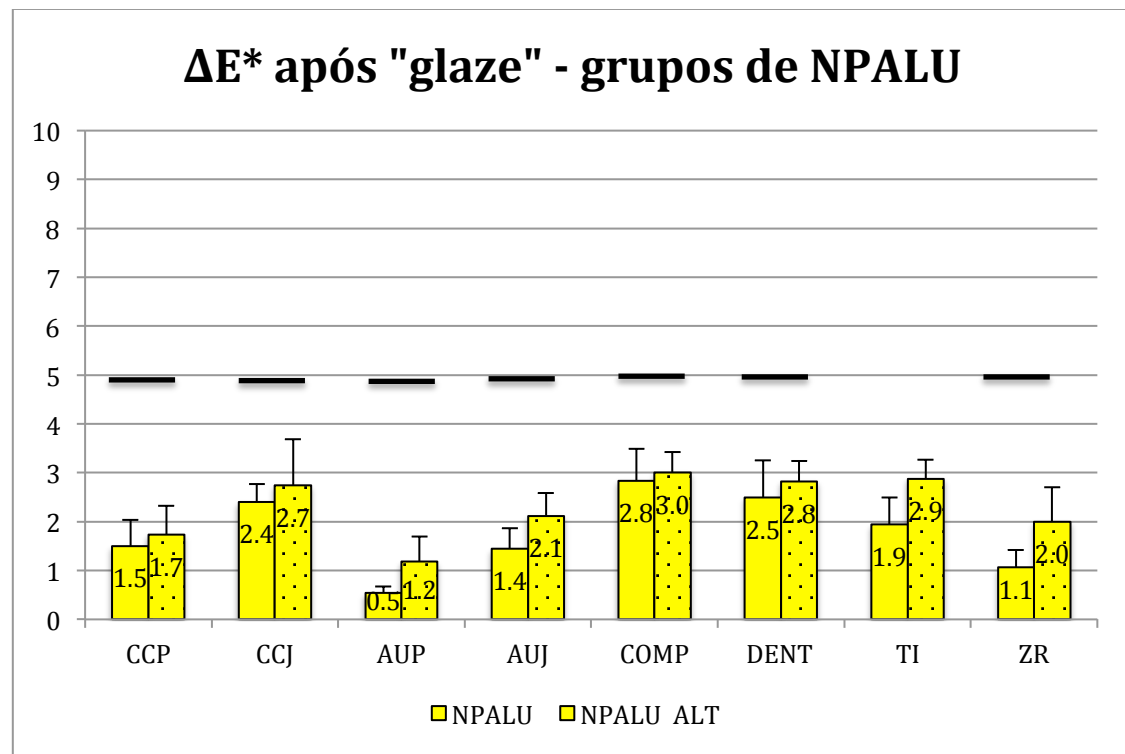


Figura 5. 6 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de NPALU sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

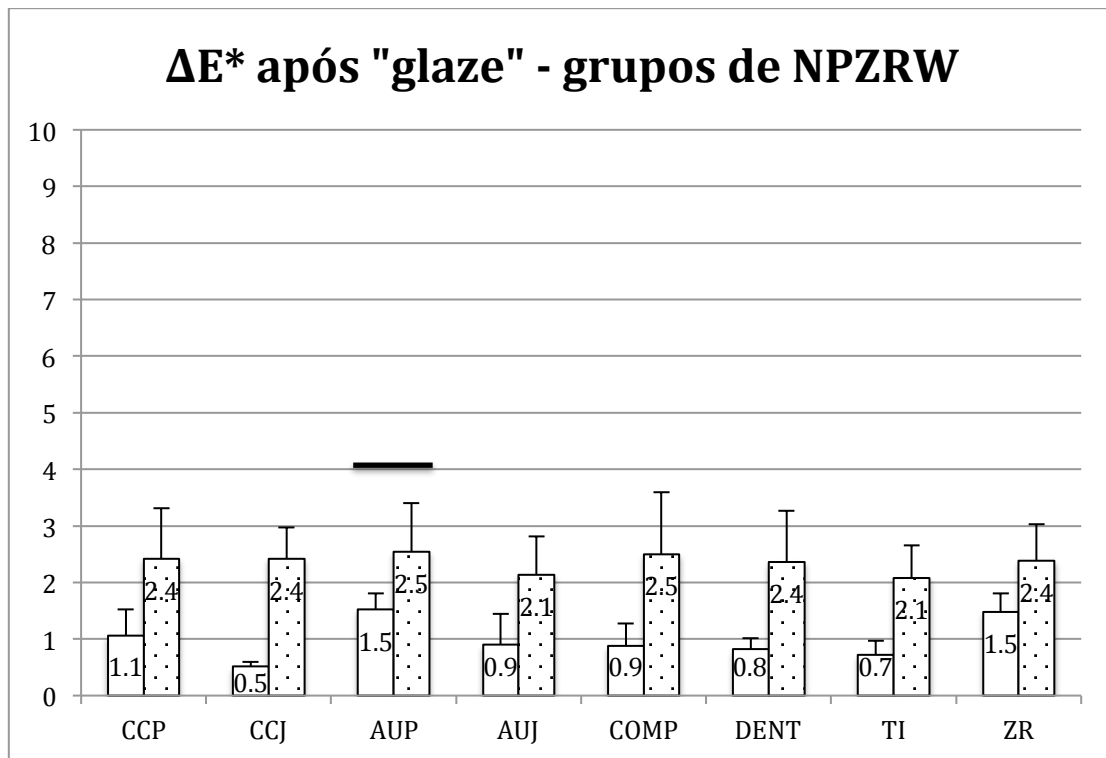


Figura 5. 7 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de NPZRW sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

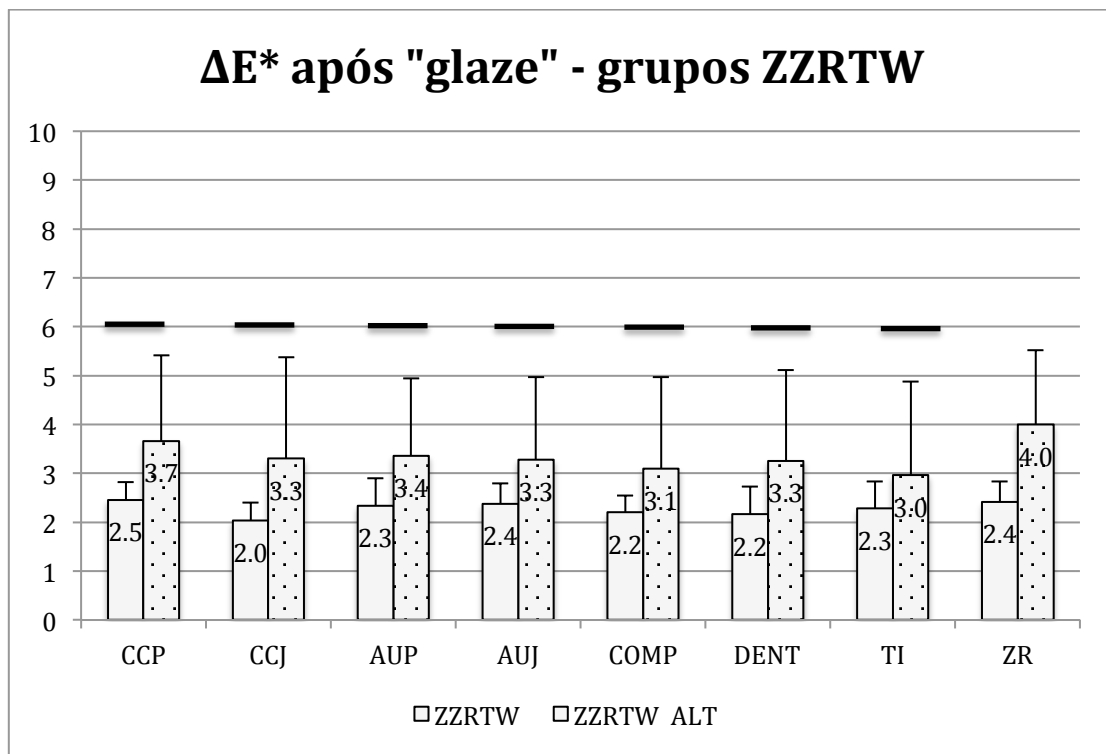


Figura 5. 8 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de ZZRTW sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

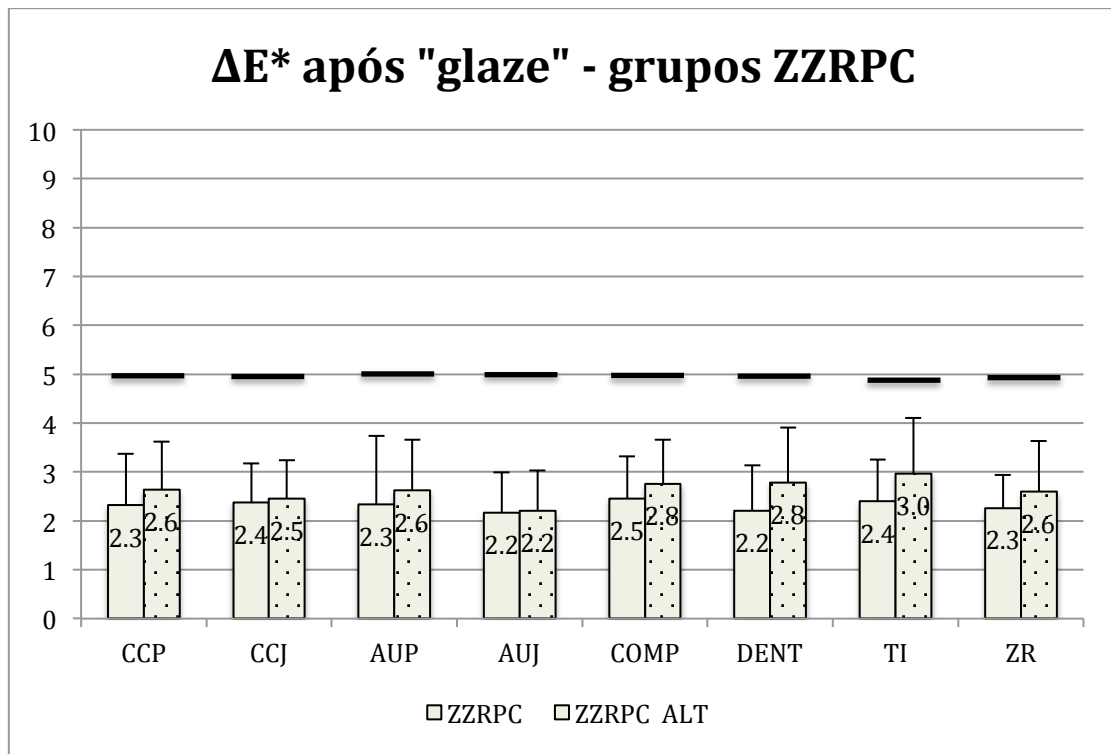


Figura 5. 9 - Distribuição dos valores de ΔE^* após "glaze" para grupos de ZZRPC sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Por fim, a análise estatística realizada para determinar a influência do tipo de fundo sobre os valores de ΔE^* não permitiu observar diferenças entre fundos, nem para o grupo de espécimes fabricados com o protocolo de queima recomendado pelo fabricante ($p=0,372$), nem para o grupo de espécimes com protocolo alternativo ($p=0,173$).

5.5 DISCUSSÃO

A importância do impacto do protocolo de queima nas propriedades mecânicas das restaurações encontra-se descrito na literatura (Tan et al., 2012) mas o seu potencial efeito nas propriedades óticas não tem sido objeto da mesma atenção. Por isso o desenho deste estudo pretendeu potenciar ao máximo as suas implicações, tendo-se optado assim por fazer um incremento lento e um

arrefecimento lentos em todas as queimas de sinterização a que os espécimes foram sujeitos durante o seu recobrimento. Este estudo assume maior importância pelo facto de não se ter encontrado na literatura nenhuma informação sobre este tema.

5.5.1 Influência da alteração do protocolo de queima na transmitância

Os resultados demonstram ter havido maior %T em todos os grupos sujeitos ao protocolo alternativo após a etapa de “glaze”. Sendo este aumento percentualmente pequeno foi suficiente para ser estatisticamente significativo para três dos quatro materiais de estrutura em estudo. Apenas no material ZZRPC, ainda que se tenha registado maior %T, não foi estatisticamente diferente entre os dois protocolos.

Os resultados mostram também que as duas zircónias brancas foram mais afetadas pelo protocolo alternativo uma vez que nestes dois materiais, tal como na alumina, as diferenças entre a utilização dos dois protocolos foram estatisticamente significativas. Rejeita-se por isso a hipótese nula formulada, por se observarem alterações do material de estrutura, por influência da modificação do protocolo de queima, que alteram a sua translucidez.

O facto de as três zircónias apresentarem resultados de %T muito aproximados ($\approx 0,24\%$) com a utilização do protocolo alternativo indicia uma uniformização no comportamento ótico induzida pelo tratamento térmico a que as estruturas foram sujeitas. O facto de terem sido sujeitas a quatro queimas de sinterização pode ter maior influência sobre esta uniformização do comportamento dos materiais. Ainda assim na literatura é feita referência ao facto de as propriedades mecânicas serem alteradas após a primeira queima de cerâmica de recobrimento, não tendo as seguintes queimas influência na alteração dessas propriedades (Øilo et al., 2008; Tang et al., 2012). Contudo, o facto de sujeitar a restauração a vários ciclos de queima mais longos que permitem a permanência prolongada num intervalo de temperatura entre 750°C-850°C (tanto no aquecimento como no arrefecimento) é favorável à produção de leucita, provocando na cerâmica de recobrimento um rearranjo molecular com uma distribuição mais uniforme e também uma densificação da

sua estrutura (Tang et al., 2012) que se repercute numa uniformização das características estruturais e consequentemente do seu comportamento ótico, conforme observado. Outra consequência é a diminuição da porosidade observável na estrutura da cerâmica de recobrimento (Tang et al., 2012), diminuindo o efeito de dispersão e reflexão de luz, justificando-se assim um aumento de transmitância da amostra conforme observado para todos os grupos sujeitos ao protocolo de queima alternativo. Heffernan et al. (2002) tinham já afirmado que queimas adicionais resultavam numa alteração na translucidez dos sistemas de cerâmica e uma diminuição da opacidade de todos os materiais recobertos com cerâmica, com exceção de estrutura de zircónia completamente opaca (In-Ceram zircónia) e das estruturas metálicas.

O facto de as estruturas de zircónia na sua sinterização inicial, feita pelo fabricante, serem sujeitas a protocolos de queima diferentes, induz nas estruturas propriedades óticas diferentes conforme já discutido no ponto 3 deste trabalho, onde se observou que ZZRPC era mais translúcida do que as três zircónias brancas em estudo após a etapa de “glaze”, apesar da sua coloração. A menor diferença de aumento de translucidez deste material quando sujeito ao protocolo modificado deve ser atribuída a uma maior estabilidade nas propriedades óticas da infraestrutura, resultantes de o seu ciclo de sinterização inicial ser feito a uma temperatura mais elevada que lhe proporciona maior translucidez. A estabilidade de fase de cada material pode depender do tamanho do grão e do seu procedimento de sinterização inicial, podendo os materiais fabricados por processos diferentes serem afetados por outros mecanismos (Øilo et al., 2008).

É também possível que estas alterações se passem ao nível da interface entre a estrutura e a cerâmica de recobrimento, sendo que as alterações óticas estejam relacionadas com a alteração estrutural observada na camada de ligação entre os dois materiais. Estudos de morfologia desta interface poderão ajudar a perceber melhor a influencia desta interface nos resultados agora observados. Estudos sobre propriedades mecânicas apontaram já a importância de investigar esta área por pouco ser conhecido o que acontece ao material de estrutura nesta interface (Fleming et al., 2004, 2006; Curtis et al., 2006; Øilo et al., 2008).

5.5.2 Influência da alteração do protocolo de queima na cor

O facto de a alteração do protocolo de queima poder traduzir-se num comportamento mecânico superior das restaurações e num aumento da translucidez dos materiais pode traduzir-se num resultado menos favorável do ponto de vista estético da restauração se isso implicar numa alteração de cor perceptível. Entre os fatores que podem contribuir para a alteração de cor durante a queima de cerâmicas foram já citados a temperatura de sinterização e o número de queimas (O'Brien et al., 1991; Shain et al., 2010). No presente estudo apenas um dos materiais em estudo (NPZRW) registou alterações de $\Delta E_{ab}^* > 1,6$ entre os dois protocolos, ou seja perceptíveis, mas que ainda assim se situaram sempre dentro do limite de aceitabilidade clínica $\Delta E^* < 3,7$. Na literatura é referido frequentemente que as alterações de cor resultantes de vários ciclos de queima podem ser devidas à instabilidade de alguns pigmentos metálicos responsáveis pela cor do material e que se desagregam com os ciclos de queima (Crispin et al., 1991; Mulla et al., 1991; Lund et al., 1992; Ozturk et al., 2008; Celik et al., 2008). No presente estudo, tendo sido padronizada a cor, o número de queimas e os protocolos de queima utilizados para todos os materiais de estrutura utilizados não parece muito plausível que o diferente comportamento deste material possa ser atribuído a esta causa.

Estudos anteriores mostraram que as restaurações com estruturas de alumina feitas por técnica de “spinell” não sofreram alterações de cor após repetidas queimas (Sahin et al., 2010), enquanto outros revelaram alterações, com diminuição dos valores de L^* e um aumento dos valores de a^* e de b^* (Uludag et al., 2007). Num estudo com estruturas de zircónia foi também verificado que a exposição a múltiplas queimas provocou diminuição dos valores de L^* e um aumento dos valores de a^* , não havendo alterações do valor de b^* (Celik et al., 2008). Percebe-se que a luminosidade (L^*) é sempre afetada pela repetição de queimas, embora os outros parâmetros de cor apresentem variabilidade dependente do tipo de material e de fundo utilizado. No presente estudo as duas zircónias brancas em estudo registaram maiores diferenças de ΔE_{ab}^* entre os dois protocolos do que os outros dois materiais que não apresentam uma coloração branca inicial, apesar de estatisticamente se terem

registado diferenças entre os dois protocolos para sete dos oito fundos para NPZRW e o mesmo não ter acontecido para ZZRTW. Verificou-se inclusive que no material de estrutura com a cor mais intensa (ZZRPC) não se registaram diferenças entre os dois protocolos.

Por outro lado, no estudo do ponto 3 tinha-se constatado que ZZRTW registou maior alteração de ΔE^* do que NPZRW por efeito do processo de recobrimento com o protocolo do fabricante. Pressupõe-se por isso que ZZRTW é menos estável aos ciclos de temperatura do que NPZRW sofrendo estas alterações apenas com ciclos de temperatura mais longos. Os dois materiais têm processos de fabrico diferentes ao nível do processamento do material, desconhecendo-se o ciclo de sinterização inicial das infraestruturas de NPZRW. É por isso possível que a influência registada com o protocolo alternativo deste estudo possa estar relacionado com o ciclo de sinterização inicial do material.

Os resultados observados no presente estudo mostraram que apenas para o material ZZRPC não foram observadas diferenças de ΔE^* nos vários fundos estudados quando foi utilizado o protocolo alternativo. Rejeita-se por isso a hipótese nula formulada, uma vez que se verificam diferenças entre os vários fundos em três dos materiais estudados, indicando uma influência do protocolo de queima. Entre os três materiais para os quais foram registadas diferenças entre fundos, NPZRW foi o mais afetado pela alteração do protocolo de queima, tendo-se verificado diferenças para todos os fundos com exceção do fundo Ag-Au-Pt polido. Os outros dois materiais apenas registaram diferenças num dos fundos, nomeadamente no fundo titânio para o material NPALU e no fundo zircónia para o material ZZRTW. Ainda assim não foi encontrada influência estatística significativa dos fundos sobre os protocolos de queima ou sobre os materiais de estrutura. Não foi possível portanto rejeitar a hipótese nula formulada.

O facto de estes três materiais terem sido aqueles para os quais se registou também um maior aumento percentual de %T, justifica que sobre alguns dos fundos eles tenham alterado a sua cor de modo significativo. Como mencionado anteriormente, translucidez e cor são duas propriedades altamente relacionadas (O'Brien, 1985; Ilie et al., 2008; Baldissara et al. 2010). Por essa razão é escolhido o cinzento neutro como fundo em muitos estudos, para

minimizar o efeito do fundo sobre os espécimes (Shokry et al., 2006; Sahin et al., 2010) ou então o índice de contraste (CR) entre o fundo branco e o fundo preto. No presente estudo, tal como nos anteriores foram utilizadas várias cores de fundo, entre os quais o branco da zircónia e três cinzentos diferentes de Co-Cr polido, Co-Cr jateado e titânio, por estes fundos corresponderem de facto aos utilizados clinicamente e por isso poderem dar uma informação mais real do comportamento dos materiais cerâmicos em ambiente oral.

5.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir:

1. A utilização do protocolo de queima alternativo fez aumentar a translucidez de todos os materiais, uniformizando a %T de todas as zircónias. O material ZZPC foi o único que não foi afectado de forma significativa na %T pelo protocolo alternativo.
2. O protocolo alternativo fez aumentar o valor de ΔE^* de todos os materiais sobre todos os fundos, não tendo influência significativa no ΔE^* do material ZZRPC em nenhum dos fundos.
3. O tipo de fundo não teve influência no ΔE^* de nenhum dos protocolos de queima.

6 Considerações finais

A escolha de sistemas de cerâmica e das técnicas para manipulação dos vários materiais cerâmicos nele utilizados são determinantes no resultado estético das restaurações e na sua integração no ambiente oral, especialmente quando as estruturas que lhe servem de suporte podem ter colorações bem diferentes da cor da dentina. É por isso imprescindível distinguir as propriedades óticas dos diferentes tipos de estruturas cerâmicas de alta resistência, na sua cor original ou após pigmentação, compreendendo a sua influência na cor da restauração após o seu revestimento com várias camadas de cerâmica. Importa também, identificar a influência da técnica de recobrimento e do protocolo de queima que melhor permitem alcançar um equilíbrio entre as propriedades óticas e mecânicas deste tipo de restaurações.

No primeiro trabalho apresentado nesta dissertação (Secção 2) foi possível observar que as técnicas para recobrimento de estruturas de alta resistência influenciam a transmitância das restaurações condicionando o efeito que o fundo pode ter sobre a sua cor final. As três técnicas estudadas apresentaram a mesma influência sobre as diferentes zircónias, sendo o comportamento destas diferente do da alumina. A técnica de injeção/pintura foi a única que demonstrou não permitir alcançar resultados de cor dentro do limite de aceitabilidade clínica, enquanto que a técnica de estratificação convencional foi aquela que melhores resultados apresentou para todos os materiais, permitindo inclusivamente que as restaurações com estruturas de zircónia

apresentem diferença de cor dentro do limite de imperceptibilidade, independentemente do fundo.

A técnica de estratificação convencional foi assim a escolhida para os restantes estudos desta dissertação, permitindo no segundo trabalho (Secção 3) identificar a influência das várias estruturas cerâmicas de alta resistência na translucidez e cor das restaurações sobre os vários fundos. As zircónias coloridas revelaram ser menos translúcidas que as brancas e ambas bastante menos translúcidas que a alumina. Todas as estruturas apresentaram diferente translucidez e por isso têm influência sobre a cor das restaurações, apesar de quando recobertas com 1,2 mm de cerâmica de recobrimento possibilitam a obtenção de restaurações com uma diferença para a cor padrão dentro do limite de aceitabilidade clínica. Entre os materiais estudados, uma zircónia branca e outra zircónia colorida permitiram alcançar resultados de diferença de cor dentro do limite de imperceptibilidade. Este resultado é alcançado apesar da influência que os vários fundos têm na diferença de cor que as restaurações apresentam para a cor padrão. De entre os vários fundos, Ag-Au-Pt polido e zircónia permitem que as restaurações com estrutura de alumina apresentem uma diferença para a cor padrão menor do que qualquer uma das zircónias.

A utilização de estruturas de zircónia colorida pressupõe uma facilidade maior na obtenção da cor desejada numa restauração, facilitando o seu recobrimento, contudo, o terceiro trabalho (Secção 4) permitiu verificar que entre as restaurações com estruturas coloridas quando não é utilizada uma cerâmica de “liner”, estas apresentam maior translucidez e maior diferença de cor, ultrapassando o limite de aceitabilidade clínica para a maioria dos fundos. As estruturas coloridas por si só não são um garante de melhor obtenção da cor pretendida de uma restauração.

Por fim, no último trabalho (Secção 5) foi possível observar o efeito de aumento e uniformização de translucidez das restaurações com estruturas de zircónia que se traduz num aumento da diferença de cor em todos os materiais, quando é utilizado um protocolo de queima alternativo com o intuito de melhorar o desempenho mecânico das restaurações. Este comportamento parece ser menos acentuado nas estruturas de zircónia colorida em comparação com as estruturas de zircónia branca ou de alumina.

Deste modo é possível concluir que, nas condições do presente estudo, as técnicas de recobrimento, o protocolo de queima, o material da estrutura e a utilização de cerâmica de “liner” influenciam a translucidez das restaurações e a cor dos sistemas de cerâmica de alta resistência sobre diferentes fundos.

7 Sugestões de trabalho futuro

Os resultados obtidos podem adquirir um outro significado se for feita uma análise aos valores CIELCh* obtidos, podendo estes dar melhores indicações sobre qual dos parâmetros foi mais afetado e mais contribuiu para o ΔE^* observado nos diferentes estudos.

Também o estudo morfológico das infraestruturas com SEM e/ou difração de raios-X, antes e após o recobrimento, poderá ajudar a fazer uma análise mais clara da alteração da estrutura e do tamanho do grão dos vários materiais cerâmicos estudados.

BIBLIOGRAFIA

Aboushelib MN, de Jaeger N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic crowns. *Quintessence Int* 2005;21:984-91.

Aboushelib MN, de Kler M, van der Zel JM, Feilzer AJ. Effect of veneering method on the fracture and bond strength of bilayered zirconia restorations. *Int J Prosthodont* 2008;21:237-40.

Aboushelib MN, Dozic A, Liem JK. Influence of framework color and layering technique on the final color of zirconia veneered restorations. *Quintessence Int* 2010;41:84-9.

Ahn JS, Lee YK. Color distribution of a shade guide in the value, chroma and hue scale. *J Prosthet Dent* 2008;100:18-28.

Alghazzawi TF, Lemons J, Liu P-R, Essig ME, Janowski GM. Evaluation of the optical properties of CAD-CAM generated Yttria-stabilized zirconia and glass-ceramic laminate veneers. *J Prosthet Dent* 2012;107:300-308.

Andersson M, Odén A. A new all-ceramic crown. A dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. *Acta Odontol Scand* 1993;51:59-64.

- Antonson SA, Anusavice KJ. Contrast ratio of veneering and core ceramics as a function of thickness. *Int J Prosthodont* 2001;14:316–20.
- Anusavice KJ. Benefits and limitations of restorative dental ceramics. Symposium on esthetic restorative material. Chicago, IL. 1991:73-78.
- Baldissara P, Llukacej A, Ciocca L, Valandro FL, Scotti R. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent* 2010;104:6–12.
- Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. The determination of the tooth colors. *Quintessenz Zahntechnik*, 2004;30:726-40.
- Ban S. Reliability and properties of core materials for all-ceramic dental restorations. *Japan Dent Sci Rev* 2008;44:3—21.
- Barath VS, Faber VJ, Westland S, Niedermaier W. Spectrophotometric analysis of all-ceramic materials and their interaction with luting agents and different backgrounds. *Adv Dent Res* 2003;17:55–60.
- Barghi N, Lorenzana RE. Optimum thickness of opaque and body porcelain. *J Prosthet Dent* 1982;48:429-31.
- Besimo CE, Spielmann HP, Rohner HP. Computer-assisted generation of all-ceramic crowns and fixed partial dentures. *Int J Comput Dent* 2001;4:243-62.
- Binns D. The chemical and physical properties of dental porcelain. In:McLean JW, editor. *Proceedings of the First International Symposium on Ceramics*. Chicago: Quintessence; 1983. P.45.
- Borba M, de Araújo MD, Fukushima KA, Yoshimura HN, Cesar PF, Griggs JA, et al. Effect of the microstructure on the lifetime of dental ceramics. *Dent Mater* 2011;27:710–21.

- Brodbelt R, O'Brien W, Fan P. Translucency of dental porcelains. *J Dent Res* 1980;59:70-5.
- Brodbelt R, O'Brien W, Frazer-Dib J, Yu R. Translucency of human dental enamel. *J Dent Res* 1981; 60:1749-53.
- Browning WD, Chan DC, Blalock JS, Brackett Mg. A comparison of human raters and an intra-oral spectrophotometer. *Oper Dent* 2009;34:337-43.
- Buchalla W, Attin T, Hilgers RD, Hellwig E. The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *J Prosthet Dent* 2002; 87:264-70.
- Budworth DW. Transparency of polycrystalline ceramics. *Special Ceramics* 5 ed. PProper.Tee British Ceramic Research Association, 1972:185-92.
- Burger W, Richter HG, Piconi C, Vatteroni R, Cittadini A, Boccalari M. New Y-TZP powders for medical grade zirconia. *J Mater Sci Mater Med* 1997;8:113-8.
- Cales B. Colored zirconia ceramics for dental applications. In: LeGeros RZ, Legeros JP, editors. *Bioceramics*. New York: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.; 1998.
- Campbell PM, Johnston WM, O'Brien WJ. Light scattering and gloss of an experimental quartz-filled composite. *J Dent Res* 1986;65:892-4.
- Capa N, Malkondu O, Kazazoglu E, Calikkacaoglu S. Evaluating factors that affect the shade-matching ability of dentists, dental staff members and laypeople. *J Am Dent Assoc* 2010;141:71-6.
- Carossa S, Lombardo S, Pera P, Corsalini M, Rastello ML, Preti PG. Influence of posts and cores on light transmission through different all-ceramic crowns: spectrophotometric and clinical evaluation. *Int J Prosthodont* 2001;14:9-14.

Carracho JF. The influence of different surface and heat treatments on the biaxial flexural strength of veneering ceramics for zirconia and strength reliability and mode of fracture of veneering ceramics/zirconia core ceramics. Faculdade de Medicina Dentária de Lisboa 2011; Doutoramento em medicina dentária – especialidade de reabilitação oral.

Carter CB, Norton MG. Ceramic materials: Science and engineering. New York: Springer Science&Business Media, LLC.; 2007. p. 583.

Casolco SR Jr, Xu J, Garay JE. Transparent/ translucent polycrystalline nanostructured yttria stabilized zirconia with varying colors. *Scr Mater* 2008;58:516-9.

Cattell MJ, Chadwick TC, Knowles JC, Clarke RL, Samarawickrama DYD. The nucleation and crystallization of fine grained leucite glass-ceramics for dental applications. *Dent Mater* 2006;22:925–33.

Celik G, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Ozturk O, Goktug G. The effect of repeated firings on the color of an all-ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent* 2008;99:203-8.

Chang J, Da Silva JD, Sakai M, Kristiansen J, Ishikawa-Nagai S. The optical effect of composite luting cement on all ceramic crowns. *J Dent* 2009;37:937-43.

Chen X, Chadwick TC, Wilson RM, Hill R, Cattell MJ. Crystallization of high-strength fine-sized leucite glass- ceramics. *J Dent Re* 2010;89:1510–6.

Chen YM, Smales RJ, Yip KH, Sung WJ. Translucency and biaxial flexural strength of four ceramic core materials. *Dent Mater* 2008;24:1506–11.

Chevalier J, Deville S, Münch E, Jullian R, Lair F. Critical effect of cubic phase on aging in 3 mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis. *Biomater* 2004;25:5539-45.

Cho MS, Lee YK, Lim BS, Lim YJ. Changes in optical properties of enamel porcelain after repeated external staining. *J Prosthet Dent* 2006;95:437-43.

Choi JE, Waddell JN, Swain MV. Pressed ceramics onto zirconia. Part 2: indentation fracture and influence of cooling rate on residual stresses. *Dent Mater* 2011;27:1111-8.

Choi JE, Waddell JN, Torr B, Swain MV. Pressed ceramics onto zirconia. Part 1: Comparison of crystalline phase present, adhesion to a zirconia system and flexural strength. *Dent Mater* 2011;27:1204-12.

Choi YO, Razzoog ME. Masking Ability of Zirconia with and without Veneering Porcelain. *J Prosthodont* 2013;22:98-104.

Christensen R., Ploeger B. A clinical comparison of zirconia, metal and alumina fixed-prosthesis frameworks veneered with layered or pressed ceramic – A three-year report. *J Am Dent Assoc* 2010;141:1317-29..

Chu FC, Chow TW, Chai J. Contrast ratios and masking ability of three types of ceramic veneers. *J Prosthet Dent* 2007;98:359-64.

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Colorimetry-technical report. CIE Pub. N°15, 2nd ed. Vienna, Austria: Bureau Central de la CIE; 1986. P.35-6 (corrected reprint 1996).

Clarke FJ. Measurement of color of human teeth. In: McLean JW, editor. *Proceedings of the First International Symposium on Ceramics*. Quintessence 1983:441-90.

Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current Ceramic Materials and Systems With Clinical Recommendations: A Systematic Review. *J Prosthet Dent* 2007; 98:389-404.

Corciolani G. A study of dental color matching, color selection and color reproduction. University of Siena 2009.

Cottom BA, Mayo MJ. Fracture toughness of nanocrystalline ZrO₂-3 mol% Y₂O₃ determined by Vickers indentation. *Scripta Mater* 1996;34:809-14.

Crispin BJ, Seghi RR, Globe H. Effect of different metal ceramic alloys on the color of opaque and dentin porcelain. *J Prosthet Dent* 1991;65:351-6.

Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent* 1970;24:166-73.

Curd FM, Asinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. *J Prosthet Dent* 2006;96:391-6.

Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJP. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2006;34:195-206.

Davidson SP, Myslinski NR. Shade selection by color vision-defective dental personnel. *J Prost Dent* 1990;63:97-101.

De Azevedo Cubas GB, Camacho GB, Demarco FF, Pereira-Cenci T. The Effect of Luting Agents and Ceramic Thickness on the Color Variation of Different Ceramics against a Chromatic Background. *Eur J Dent* 2011;5:245-252.

Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, Pinzeta C. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. *Dent Mater* 2009;25:276-81.

Deng Y, Miranda P, Pajares A, Guiberteau F, Lawn BR. Fracture of ceramic/ceramic/polymer trilayers for biomechanical applications. *J Biomed Mater Res A* 2003;67:828-33.

Denry I, Kelly R. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater* 2008;24:299-307.

Denry I, Rosenstiel Sf. Phase transformation in feldspathic dental porcelains. In: Fischman G, editor. *Bioceramics: materials and applications*. Westervill (OH): The American Ceramic Society; 1995.

Devigus A, Lombardi G. Shading Vita YZ substructures: influence on value and chroma. *Int J Comput Dent* 2004;7:293–301.

Ding Y, Jiang S, Luo T, Miura Y, Peyhambarian N. Lithium disilicate crystalline slab waveguides from surface crystallised glass. *Electronics Letters* 1999;35:504-5.

Dittmer MP, Borchers L, Stiesch M, Kohorst P. Stresses and distortions within zirconia-fixed dental prostheses due to the veneering process. *Acta Biomater* 2009;5:3231

Douglas R, Brewer J. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1998;79:254-60.

Douglas RD, Przybylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. *J Prosthet Dent* 1999;82:143-9.

Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prost Dent*.2007;97:200–8.

Dozic A, Kleverlaan C, El-Zohairy A, Feilzer A, Khashayar G. Performance of Five Commercially Available Tooth Color-Measuring Devices. *J Prosthodont* 2007;16:93-100.

Dozic A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, van der Zel J, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *J Prost Dent* 2003;90:563-70.

Drummond JL, King TJ, Bapna MS, Koperski RD. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. *Dent Mater* 2000;16:226-33.

Duran I, Guler AU. Light transmission of zirconia ceramics with different colors and thicknesses. *J Dent Sci* 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jds.2012.04.003>

Ebeid K, Wille S, Hamdy A, Salah T, El-Etreby A, Kern M. Effect of changes in sintering parameters on monolithic translucent zirconia. *Dent Mater* 2014. (Article in Press)

Engelmeier RL. Complete-denture esthetics. *Dent Clin North Am* 1996;40:71-84.

Fairhurst CW, Anusavice KJ, Hashinger DT, Ringle RD, Twiggs SW. Thermal expansion of dental alloys and porcelains. *J Biomed Mater Res* 1980;14:435-46.

Felcher FR. Dental Porcelains. *J Am Dent Assoc* 1932;19:1021.

Fischer J, Stawarczyk B, Hämmerle CH. Flexural strength of veneering ceramics for zirconia. *J Dent* 2008;36:316-21.

Fischer J, Stawarczyk B, Tomic M, Strub JR, Hämmerle CH. Effect of thermal misfit between different veneering ceramics and zirconia frameworks on in vitro fracture load of single crowns. *Dent Mater* 2007;26:766-72.

Fischer J, Stawarczyk B, Trottmann A, Ha mmerle CH. Impact of thermal misfit on shear strength of veneering ceramic/ zirconia composites. *Dent Mater* 2009;25:419–23.

Fleming GJ, Dickens M, Thomas LJ, Harris JJ. The in vitro failure of all-ceramic crowns and the connector area of fixed partial dentures using bilayered ceramic specimens: the influence of core to dentine thickness ratio. *Dent Mater* 2006;22:771–7.

Fleming GJ, El-Lakwah SF, Harris JJ, Marquis PM. The influence of interfacial surface roughness on bilayered ceramic specimen performance. *Dent Mater* 2004;20:142–9.

Fondriest J. Shade Matching in Restorative Dentistry: The Science and Strategies. *Periodontics Rest Dent* 2003;23:467-479.

Galmarini S, Aschauer U, Bowen P, Parker SC. Atomistic simulation of Y-doped α -alumina interfaces. *J Am Ceram Soc* 2008;91:3643-51.

Geary JL, Kinirons MJ. Use of a common shade guide to test the perception of differences in the shades and value by members of the dental team. *Prim Dent Care* 1999;6:107–10.

Ghinea R, Pérez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD, Colour difference thresholds in dental ceramics. *J Dent* 2010; 38 Suppl2:e57-64.

Gokce HS, Piskin B, Ceyhan D, Gokce SM, Arisan V. Shade matching performance of normal and color vision-deficient dental professionals with standard daylight and tungsten illuminants. *J Prosthet Dent* 2010;103:139-47.

Gostemeyer G, Jendras M, Dittmer MP, Bach F, Stiesch M, Kohorst P. Influence of cooling rate on zirconia/veneer interfacial adhesion. *Acta Biomater* 2010;6:4532-8.

Green D, Hannink R, Swain M. Transformation toughening of ceramics. Boca Raton, FL: CRC Press; 1988.

Grossman DG, Nelson JW. The bonded Dicor crown. *J Dent Res* 1987;66:206.

Guazzato M, Albakry M, Quach L, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of a glass-infiltrated alumina/zirconia-reinforced dental ceramic. *Dent Mater* 2005;21:454-63.

Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater* 2004;20:449-456.

Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *Biomaterials* 2004;25:5045-52.

Guazzato M, Quach L, Albakry M, et al. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2005;33:9-18.

Guazzato M, Walton TR, Franklin W, Davis G, Bohl C, Klineberg I. Influence of thickness and cooling rate on development of spontaneous cracks in porcelain/zirconia structures. *Aust Dent J* 2010;55:306-10.

Guess P, Schultheis S, Bonfante E., Coelho P, Ferencz J. All-Ceramic Systems: Laboratory and Clinical Performance. *Dent Clin N Am* 2011;55:333-52.

Guess P, Zhang Y, Kim JW. Damage and reliability of Y-TZP after cementation surface treatment. *J Dent Res* 2010;89:592-6.

Hammad IA, Stein RS. A qualitative study for the bond and color of ceramometals. Part II. *J Prosthet Dent* 1991;65:169-79.

Hämmerle CHF. Success and failure of fixed bridge-work. *Periodontology* 2000 1994;4:41-51.

Hannink RHJ, Kelly PM, Muddle BC. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics. *J Am Ceram Soc* 2000;83:461-87.

Hee-Kyung K, Sung-Hun K. Effect of the number of coloring liquid applications on the optical properties of monolithic zirconia. *Dent Mater* 2014;30:e229-e237.

Heffernan M, Aquilino S, Diaz-Arnold A, Haselton D, Standford C, Vargas M. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: Core materials. *J Prosthet Dent* 2002;88:4-9.

Heffernan M, Aquilino S, Diaz-Arnold A, Haselton D, Standford C, Vargas M. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: Core and veneer materials. *J Prosthet Dent* 2002;88:10-15.

Heuer AH, Claussen N, Kriven VM, Ruhle M. Stability of tetragonal ZrO₂ particles in ceramic matrices. *J Am Ceram Soc* 1982;65:642-50.

Hirata, M. Avaliação da refletância, transmitância direta e fluorescência de resinas compostas. Universidade do Estado do Rio de Janeiro 2008: tese de doutoramento.

Hjerppe J, Narhi T, Froberg K, Vallittu PK, Lassila LV. Effect of shading the zirconia framework on biaxial strength and surface microhardness. *Acta Odontol Scand* 2008;66:262-7.

Ho-Jung S, Woong-Chul K, Sang-Ho J, Young-Su K, Sung-Won J, Jin-Soo A. Influence of dentin porcelain thickness on layered all-ceramic restoration color. *J Dent* 2010;38 suppl2:e17-7.

Ho-Nam L, Bin Y, Yong-Keun L. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2010;104:239-246

Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod* 1998;24:786–90.

Hunter RS. The measurement of appearance. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc.;1987.

Ikeda T, Sidhu SK, Omata Y, Fujita M, Sano H. Colour and translucency of opaque-shades and body-shades of resin composites. *Eur J Oral Sci* 2005;113:170-3.

Ilie N, Hickel R. Correlation between ceramics translucency and polymerization efficiency through ceramics. *Dent Mater* 2008;24:908-14.

Ilie N, Stawarczyk B. Quantification of the amount of light passing through zirconia: The effect of material shade, thickness, and curing conditions. *J Dent* 2014;42:684-90.

Isgrò G, Kleverlaan CJ, Wang H, Feilzer AJ. Thermal dimensional behavior of dental ceramics. *Biomater* 2004;25:2447-53.

Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Sakai M, Kristiansen J, Da Silva J. Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. *J Dent* 2009;37:57-63.

Jacobs SH, Goodacre CJ, Moore BK, Dykema RW. Effect of porcelain thickness and type of metal-ceramic alloy on color. *J Prosthet Dent* 1987;57:138-45.

Jarad F, Moss B, Youngson C, Russell M. The effect of enamel porcelain thickness on color and the ability of a shade guide to prescribe chroma. *Dent Mater* 2007;23:454–460.

Jardel V, Grignoux A. Realisation de restaurations céramo-céramique en zircone Prettau à laide su systeme panthograph Zirkonzahn en pratique journalière. Quintessence Revue Internationale de Próthese Déntaire 2011;3:226-235.

Jasinevicius TR, Curd FM, Schiling L, Sadan A. Shade-matching abilities of dental laboratory technicians using a commercial light source. J Prosthodont 2009;18:60-3.

Jiang L, Liao Y, WanQ, Li W. Effects of sintering temperature and particle size on the translucency of zirconium dioxide dental ceramic. J Mater Sci Mater Med 2011;22:2429-35.

Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res. 1989;68:819–822.

Jones DW. Development of dental ceramics: An historical perspective. Dent Clin North Am 1985;29:621-44.

Jorgenson MW, Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings. J Prosthet Dent 1979;42:96-105.

Kelly JR, Denry I. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. Dent Mater 2008;24:289-98.

Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. J Prosthet Dent 1996;75:18-32.

Khashayar G, Bain P, Salari S, Dozic A, Kleverlaan C, Feilzer A. Perceptibility and acceptability tresholds for colour differences in dentistry. J Dent 2014;42:637-644.

Kim MJ, Ahn JS, Kim WC. Effects of the sintering conditions of dental zirconia ceramics on the grain size and translucency J Adv Prosthodont 2013;5:161–66.

Kingery WD, Bowen HK, Uhlmann DR. Introduction to ceramics. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons; 1976. p. 646-89.

Klementti E, Matela AM, Haag P, Kononen M. Shade selection performed by novice dental professionals and colorimeter. J Oral Rehabil 2006;33:31-5.

Komine F, Saito A, Kobayashi K, Koizuka M, Koizumi H, Matsumura H. Effect of cooling rate on shear bond strength of veneering porcelain to a zirconia ceramic material. J Oral Sci 2010;52:647-52.

Kon M, Kawano F, Asaoka K, Matsumoto N. Effect of leucite crystals on the strength of glassy porcelain. Dent Mater J 1994;13:138-47.

Kon M, O'Brien WJ, Rasmussen ST, Asaoka K. Mechanical properties of glass-only porcelains prepared by the use of two feldspathic frits with different thermal properties. J Dent Res 2001;80:1758-63.

Koutayas SO, Kakaboura A, Hussein A, Strub JR. Colorimetric evaluation of the influence of five different restorative materials on the color of veneered densely sintered alumina. J Esthet Rest Dent 2003;15:353–60.

Lawn B, Bhowmick S, Bush MB, Qasim T, Rekow ED, Zhang Y. Failure modes in ceramic-based layer structures: a basis for materials design of dental crowns. American Ceramic Society 2007;90:1671–83.

Lee YK, Cha HS, Ahn JS. Layered color of all-ceramic core and veneers. J Prosthet Dent 2007;97:279–86.

Lee YK. Comparison of CIELAB Delta E(*) and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermocycling of resin composites. *Dent Mater* 2005;21:678-82.

Lehmann KM, Igiel C, Schmidtmann I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent* 2010; 38 Suppl 2:e65-70.

Li Q, Yu H, Wang YN. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of core build-up composites on all-ceramic materials. *Dent Mater* 2009;25:158-65.

Li R, Chow T, Matinlinna J. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: State of the art. *J Prosthodont Re*, 2014. (Article in press)

Lim HN, Yu B, Lee YK. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2010;104:239-46.

Liu MC, Aquilino S, Gratton D, Ou KL, Lin CC. Relative Translucency and Surface Roughness of Four Yttriumstabilized Tetragonal Zirconia Polycrystalline-based Dental Restorations. *J Exp Clin Med* 2013;5:22-24.

Lund PS, Piotrowski TJ. Color changes of porcelain surface colorants resulting from firing. *Int J Prosthodont* 1992;5:22-7.

Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 color difference formula:CIEDE2000. *Color Res Appl* 2001;26:21-8.

Luo XP, Zhang L. Effect of veneering techniques on color and translucency of Y-TZP. *J Prosthodont* 2010;19:465-70.

Luthard RG, Holzhuter MS, Rudolph H, Herold V, Walter MH. CAD/CAM machining effects on Y-TZP zircónia. *Dent Mater* 2004;20:655-62.

- MacCulloch WT. Advances in dental ceramics. *Br Dent J* 1968;124:361-5.
- Mackert JR Jr, Khajotia SS, Russell CM, Williams AL. Potential interference of leucite crystallization during porcelain thermal expansion measurement. *Dent Mater* 1996;12:8-12.
- Masotti A, Onofrio A, Conceicao E, Spohr A. UV-vis spectrophotometric direct transmittance analysis of composite resins. *Dent Mater* 2007;23(6):724-30.
- McLean JW, Huges TH. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br Dent J* 1965;119:251-67.
- McLean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. *J Prosthet Dent* 2001;85:61-6.
- McLean JW. New dental ceramics and esthetics. *J Esthet Dent* 1995;7:141-149.
- Miller L. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1987;Special No:26-40.
- Miyazaki T, Nakamura T, Matsumura H, Ban S, Kobayashi T. Current status of zirconia restoration. *J Prosthodont Re* 2013;57:236-261.
- Mulla FA, Weiner S. Effects of temperature on color stability of porcelain stains. *J Prosthet Dent* 1991;65:507-12.
- Mumford G. Dental ceramics, In: Clark, JW. *Clinical dentistry*. Harper and Row, 1st ed., Hagerstown, MD; 1976: pp.1-12.
- Munsell AH. *A color notation*. 11th ed., Baltimore, MD: Munsell Color Co.; 1961.
- Nakamura T, Saito O, Fuyikawa J, Ishigaki S. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the colour of heatpressed ceramic crowns. *J Oral Rehabil* 2002;29:805-9.

Nogueira AD, Bona AD. The effect of a coupling medium on color and translucency of CAD–CAM ceramics. *J Dent* 2013;41:18-23.

O'Brien WJ. Dental materials and their selection. 3rd ed. Chicago: Quintessence Publishing CO 2002:210-224.

O'Brien WJ, Kay KS, Boenke KM, Groh CL. Sources of color variation on firing porcelain. *Dent Mater* 1991;7:170-3.

O'Brien WJ. Double layer effect and other optical phenomena related to esthetics. *Dent Clin North Am* 1985;29:667-72.

Odman P, Andersson B. Procera AllCeram crowns followed for 5 to 10.5 years: a prospective clinical study. *Int J Prosthodont* 2001;14:504-9.

Øilo M, Gjerdet N, Tvinnereim H. The firing procedure influences properties of a zirconia core ceramic. *Dent Mater* 2008;24:471-75.

Øilo G. Flexural strength and internal defects of some dental porcelains. *Acta Odontol Scand* 1988;46:313-22.

Özkurt Z, Kazazoglu E, Ünal A. In vitro evaluation of shear bond strength of veneering ceramics to zirconia. *Dent Mater J* 2010; 29:138–146.

Öztürk O, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Celik G. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent* 2008;100:99-106.

Panagiota ES, Giroux EC, Razzoog ME, Duff RE. Translucency of shaded zirconia core material. *J Prosthet Dent* 2011;105:304-307.

Paravina RD, Johnston WM, Powers JM. New shade guide for evaluation of tooth whitening-colorimetric study. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:276-83.

Paravina, R. D., Ontiveros, J. C., Powers, J. M. Accelerated aging effects on color and translucency of bleaching-shade composites. *J Esthet Restor Dent*, 2004;16:117-26.

Paul S, Peter A, Pietrobon N, Ha"mmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Re* 2002;81:578-82.

Pérez Mdel M, Saleh A, Yebra A, Pulgar R. Study of the variation between CIELAB Delta E* and CIEDE2000 color-differences of resin composites. *Dent Mater J* 2007;26:21-8.

Phillips RW. *Materiais dentários*. 1998;10ed. Rio de Janeiro:Guanabara Koogan.

Piché PW, O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. Leucite content of selected dental porcelains. *J Biomed Mater Res* 1994;28:603-9.

Piddock V. Effect of alumina concentration on the thermal diffusivity of dental porcelain. *J Dent* 1989;17:290-4.

Pires-de-Souza C, Casemiro LA, Garcia F, Cruvinel DR. Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *J Prosthet Dent* 2009;101:13-8.

Pittayachawan P, McDonald A, Petrie A, Knowles JC. The biaxial flexural strength and fatigue property of Lava Y-TZP dental ceramic. *Dent Mater* 2007;23:1018-29.

Pjetursson B, Bragger U, Lang N, Zwahlen M. Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). *Clin Oral Impl Res* 2007;18 (Suppl. 3):97-113.

Poujade J, Zerbib C., Serre D. *Céramique dentaires*. EMC-Dentisterie 1 2004:101-117.

- Probster L, Diehl J. Slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. *Quintessence Int* 1992;23:25-31.
- Raigrodski AJ. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2004;92:557-62.
- Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 4th ed., St Louis: Mosby; 2006. p. 774.
- Rues S, Krüger E, Müller D, Schmitter M. Effect of firing protocols on cohesive failure of all-ceramic crowns. *J Dent* 2010;38:987-94.
- Ruiz L, Readey MJ. Effect of heat-treatment on grain size, phase assemblage, and mechanical properties of 3 mol% Y-TZP. *J Am Ceram Soc* 1996;79:2331-40.
- Sadan A, Blatz M, Lang B. Clinical considerations for densely sintered alumina and zirconia restorations: Part 1. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005; 25:213-19.
- Sahin V, Uludag B, Usumez A, Ozkir S. The effect of repeated firings on the color of an alumina ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent* 2010;104:372-8.
- Sailer I, Feher A, Filser F, Luthy H, Gauckler LJ, Scharer P. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partidentures: 3-year follow-up. *Quintessence Int* 2006;37:685-93.
- Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S, Ha`mmerle CH. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metalceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year followup. *Int J Prosthodont* 2009;22:553-60.

Sailer I, Holderegger C, Jung RE, Suter A, Thievent B, Pietrobon N, Gebhard W, Hammerle CH. Clinical study of the color stability of veneering ceramics for zirconia frameworks. *Int J Prosthodont* 2007;20:263-9.

Schmidseder J. *Color Atlas of Dental Medicine – Aesthetic Dentistry*. George Thieme Verlag, Germany, 2000.

Scott HG. Phase relationships in the zirconia-yttria system. *J Mater Sci* 1975;10:1527-35.

Seghi R, Hewlett E, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68:1760-4.

Seghi. Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains. *J Dent Res* 1990;69:1180-3.

Shah K, Holloway JA, Denry IL. Effect of coloring with various metal oxides on the microstructure, color, and flexural strength of 3Y-TZP. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2008;87:329-37.

Shimada K, Nakazawa M, Kakehashi Y, Matsumura H. Influence of abutment materials on the resultant color of heat-pressed lithium disilicate ceramics. *Dent Mater J* 2006;25:20–25.

Shokry TS, Shen C, Elhosary MM, Elkhodary AM. Effect of core and veneer thickness on the color parameters of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent* 2006;95:124-9.

Sorensen JA, Cruz M, Mito WT, Raffeiner O, Meredith HR, Foser HP. A clinical investigation on three-unit fixed partial dentures fabricated with a lithium disilicate glass–ceramic. *Pract Perio Aesthet Dent* 1999;11:85–106.

Souza FC, Casemiro LA, Garcia LF, Cruvinel DR. Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *J Prosthet Dent* 2009;101:13-8.

Spear F, Holloway J. Which all-ceramic system is optimal for anterior esthetics? *J Am Dent Assoc* 2008;139 Suppl:19-24.

Spyropoulou P, Giroux E, Razzoog M, Duff R. Translucency of shaded zirconia core material. *J Prosthet Dent* 2011;105:304-7.

Stawarczyk B, Ozcan M, Hallman L, Ender A, Mehl A, Hammerlet CH. The effect of zirconia sintering temperature on flexural strength, grain size and contrast ratio. *Clin Oral Investig* 2013;17:269-74.

Steiner PJ, Kelly JR, Giuseppetti AA. Compatibility of ceramic-ceramic systems for fixed prosthodontics. *Int J Prosthodont* 1997;10:375-80.

Stevenson B, Ibbetson R. The effect of the substructure on the colour of samples/restorations veneered with ceramic: a literature review. *J Dent* 2010;38:361-8.

Subbarao EC. Zirconia-an overview. In: Heuer AH, Hobbs LW, editors. *Science and technology of zirconia*. Columbus, OH: The American Ceramic Society; 1981. p. 1-24.

Sundh A, Moli M, Sjogren G. Fracture resistance of yttrium oxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after vennering and mechanical fatigue testing. *Dent Mater* 2005;21:476-82.

Suputtamongkol K, Tulapornchai C, Thongpun N. Effect of the shades of background substructures on the overall color of zirconia-based all-ceramic crowns. *J Adv Prosthodont* 2013;5:319-325.

Suttor D, Hauptmann H, Schnagl R, Frank S. Coloring ceramics by way of ionic or complex-containing solutions. US Patent 6,709,694; March 23, 2004.

Swain MV, Johnson LF, Syed R, Hasselman DPH. Thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity of porous partially stabilized zirconia. *J Mater Sci Lett* 1986;2:799-802.

Tan J, Sederstrom D, Polansky J, McLaren E, White S. The use of slow heating and slow cooling regimens to strengthen porcelain fused to zirconia. *J Prosthet Dent* 2012;107:163-9.

Tang X, Nakamura T, Usami H, Wakabayashi K, Yatani H. Effects of multiple firings on the mechanical properties and microstructure of veneering ceramics for zirconia frameworks. *J Dent* 2012; 40; 372–80.

Technology JjL. The principles of use of a spectrophotometer and its application in the measurement of dental shades. *Vita Zahnfabrik*; 2003.

Technology JjL. Vita Easyshade Compact– Operating Instructions. *Vita Zahnfabrik*; 2010.

Terzioğlu H, Yilmaz B, Yurdukoru B. The effect of different shades of specific luting agents and IPS empress ceramic thickness on overall color. *Int J Periodontics Rest Dent*. 2009;29:499–505.

Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, et al. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Comput Dent* 2004;7:25-45.

Uludag B, Usumez A, Sahin V, Eser K, Ercoban E. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of ceramic systems: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2007;97:25-31.

Van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmit WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent* 1990;63:155-62.

Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after aging. *Dent Mater* 2004;20:530-4.

Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. *Dent Mater* 2011;27:97-108.

Wang F, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *J Prosthet Dent* 2013;110:14-20.

Wang H, Xiong F, Zhenhua L. Influence of varied surface texture of dentin porcelain on optical properties of porcelain specimens. *J Prosthet Dent* 2011;105:242-8.

Webber B, McDonald A, Knowles J. An in vitro study of the compressive load at fracture of Procera AllCeram crowns with varying thickness of veneer porcelain. *J Prosthet Dent* 2003;89:154-60.

Whalen PJ, Reidinger F, Antrim RF. Prevention of low-temperature surface transformation by surface recrystallization in yttria-doped tetragonal zirconia. *J Am Ceram Soc* 1989;72:319-21.

Wohlwend A. Decisive Progress in Dental Technology by Professor Peter Scharer. *Eur J Esthet Dent* 2007;2:116-129.

Xiao Ping Luo, DDS, PhD1 & Lei Zhang, MD2. Effect of Veneering Techniques on Color and Translucency of Y-TZP. *J Prosthodont* 2010;19:465-70.

Yamada HN. Dental Porcelain: the state of the art. University of Southern California School of Dentistry, 1st ed., Los Angeles, CA, 1977.

Yoshimura H. Alumina translúcida com adição de MgO, CaO e Y₂O₃[tese]. São Paulo:Universidade de São Paulo, Engenharia Politécnica; 2000.

Zarone F., Russo S., Sorrentino R. From porcelain-fused-to-metal to zirconia: Clinical and experimental considerations. *Dent Mater* 2011;27:83-96.

Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater* 2014;30:1195-1203.

ÍNDICES

1- ÍNDICE DE FIGURAS

2- ÍNDICE DE TABELAS

1 - ÍNDICE DE FIGURAS

Secção 1

| | |
|---|----|
| Figura 1. 1 – Representação do espectro do visível e das suas cores primárias (http://semeadorestrelas.blogspot.pt/2013/09/.html)..... | 22 |
| Figura 1. 2 – Sistemas de cor aditivo (luz) e subtrativo (tinta) (http://aoticadascoisas.blogspot.pt/2012/05/teoria-das-cores.html) | 23 |
| Figura 1. 3 – Representação dos sistemas CIELab* e CIELCh* (http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.shtml) | 24 |
| Figura 1. 4 – Distribuição de cores das duas escalas VITA. (https://www.vita-zahnfabrik.com) | 26 |

Secção 2

| | |
|---|----|
| Figura 2. 1 – Materiais de infraestrutura utilizados no estudo..... | 42 |
| Figura 2. 2 – Modificação dos espécimes, disponibilizados pelo fabricante, para encaixe no calibrador. | 43 |
| Figura 2. 3 – Codificação dos espécimes dentro de cada grupo..... | 44 |
| Figura 2. 4 – Materiais Nobelrondo utilizados para as três técnicas de recobrimento, aplicados sobre estruturas de alumina e de zircónia. | 45 |
| Figura 2. 5 – Zona do dente a ser reproduzida pelo espécime. (adaptado de: Sombras, un mundo de color. August Bruguera, 2002) | 46 |
| Figura 2. 6 – Escala VITA e cor utilizada como referencia. | 46 |
| Figura 2. 7 – Cerâmica e liquido de “liner” | 47 |
| Figura 2. 8 – Aplicação e sinterização do “liner”. | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 2. 9 – Processo de aplicação de cerâmica de dentina sobre infraestrutura, utilizando o calibrador. | 49 |
| Figura 2. 10 – Processo de calibração de espessura do espécime. | 50 |
| Figura 2. 11 – Aplicação de cerâmica de incisal sobre a dentina sinterizada. | 51 |
| Figura 2. 12 – Codificação de espécimes e posicionamento em anel de injeção. . | 52 |
| Figura 2. 13 – Aplicação de pigmentos de cor D3. | 55 |
| Figura 2. 14 – Espectrofotômetro Hellos α (Thermo Electron Corporation, USA). | 56 |
| Figura 2. 15 – Gráfico da curva espectral obtida com software VISIONpro. | 56 |
| Figura 2. 16 – Suporte de espécimes montado no suporte do espectrofotômetro. | 57 |
| Figura 2. 17 – Acessório montado no equipamento para leitura do espécime, garantindo um posicionamento vertical e perpendicular deste relativamente à fonte de luz. | 58 |
| Figura 2. 18 – Espectrofotômetro Easy Shade Compact (Vita-Zahnfabrik, Germany) (https://www.vita-zahnfabrik.com) | 58 |
| Figura 2. 19 – Fundos testados sob os espécimes, utilizando o equipamento Easy Shade Compact..... | 59 |
| Figura 2. 20 – Colocação de glicerol entre o espécime e o fundo testado. | 59 |
| Figura 2. 21 – Adaptação da ponta do equipamento para leitura do espécime, através do suporte..... | 60 |
| Figura 2. 22 - Distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo para as duas etapas..... | 62 |
| Figura 2. 23 - Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respectivo desvio padrão, na etapa de infra-estrutura e de glaze. | 63 |
| Figura 2. 24 - Distribuição dos valores de % média de transmitância das infraestruturas. | 63 |
| Figura 2. 25- Distribuição dos valores de % média de transmitância após “glaze”. | 64 |
| Figura 2. 26 - Distribuição dos valores de % média de transmitância dos materiais em cada técnica, após o glaze. | 64 |

| | |
|---|----|
| Figura 2. 27 - Distribuição dos valores da % média de transmitância após o glaze de cada técnica para cada um dos materiais de estrutura (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 66 |
| Figura 2. 28 – Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos de NPALU revestidos com as três técnicas de recobrimento, obtidas com o espécime com a média de %T mais aproximado à média do grupo. | 66 |
| Figura 2. 29 - Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos de NPZRW revestidos com as três técnicas de recobrimento, obtidas com o espécime com a média de %T mais aproximado à média do grupo. | 67 |
| Figura 2. 30 - Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos de NPZRC revestidos com as três técnicas de recobrimento, obtidas com o espécime com a média de %T mais aproximado à média do grupo. | 67 |
| Figura 2. 31 - Distribuição dos valores ΔE^* , na etapa de estrutura e na etapa de glaze para todos os fundos (n=15). | 70 |
| Figura 2. 32 - Distribuição dos valores de ΔE^* dos materiais de alta resistência sobre os diferentes fundos, na etapa de estrutura (n=15; para o mesmo fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 71 |
| Figura 2. 33 - Distribuição dos valores de ΔE^* dos materiais de alta resistência sobre os diferentes fundos, na etapa de “glaze” (n=15; para o mesmo fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 72 |
| Figura 2. 34 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para técnica estratificação (n=5; para cada fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 73 |
| Figura 2. 35 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para técnica estratificação (n=5; para cada fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 74 |
| Figura 2. 36 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para técnica estratificação (n=5; para cada fundo, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 74 |
| Figura 2. 37 - Distribuição dos valores de ΔE^* para os diferentes fundos, em cada material de estrutura para todas as técnicas (n=5; para cada fundo e cada material, os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 75 |

Secção 3

| | |
|--|-----|
| Figura 3. 1 - Materiais de infraestrutura utilizados..... | 96 |
| Figura 3. 2 – Blocos Zirkonzahn utilizados para fresar cilindros..... | 98 |
| Figura 3. 3 – Cilindro e discos de material Zirkonzahn..... | 98 |
| Figura 3. 4 – Laminação e calibração dos espécimes de material Zirkonzahn..... | 99 |
| Figura 3. 5 - Distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo em cada etapa de aplicação de cerâmica e da sua diferença percentual..... | 102 |
| Figura 3. 6 - Distribuição dos valores de % T dos materiais de infraestrutura (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 103 |
| Figura 3. 7 - Distribuição dos valores de % T dos materiais de infraestrutura após o “glaze” (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 104 |
| Figura 3. 8 - Curvas espectrais após “Glaze”, de todos os materiais de estrutura, obtidas com o espécime com valor de %T mais aproximado à média do grupo..... | 105 |
| Figura 3. 9 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura na etapa estrutura, sobre oito fundos. (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica)..... | 107 |
| Figura 3. 10 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura após etapa de “glaze”, sobre oito fundos (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica e linha verde limite de percepção)..... | 108 |
| Figura 3. 11 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de infraestrutura nas etapas de estrutura e de “glaze”, sobre oito fundos..... | 109 |
| Figura 3. 12- Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Co-Cr polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 110 |
| Figura 3. 13 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Co-Cr jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 110 |
| Figura 3. 14 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Ag-Au-Pt polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 111 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3. 15 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Ag-Au-Pt jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 111 |
| Figura 3. 16 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo Compósito (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 112 |
| Figura 3. 17 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo dentina (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 112 |
| Figura 3. 18 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo titânio (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 113 |
| Figura 3. 19 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura para o fundo zircônia (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 113 |
| Figura 3. 20 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo Co-Cr polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 114 |
| Figura 3. 21 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo Co-Cr jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 115 |
| Figura 3. 22 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo Ag-Au-Pt polido (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 115 |
| Figura 3. 23 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo Ag-Au-Pt Jateado (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 116 |
| Figura 3. 24 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo compósito (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 116 |
| Figura 3. 25 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo dentina (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 117 |
| Figura 3. 26 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo titânio (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 117 |

Figura 3. 27 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada um dos materiais de estrutura após “glaze” para o fundo zircônia (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). 118

Figura 3. 28 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada fundo para cada material de estrutura nas etapas de estrutura e “glaze” (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). 119

Secção 4

Figura 4. 1 – Materiais de infraestrutura utilizados. 137

Figura 4. 2 - Diferença de % média de transmitância de cada grupo entre as etapas de estrutura e de “glaze”. 140

Figura 4. 3 - Distribuição dos valores da % média de transmitância de cada grupo após “glaze”. 140

Figura 4. 4 - Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos com “liner” e sem “liner”, obtidas com o espécime com valor de %T mais aproximado à média do grupo. 141

Figura 4. 5 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura após etapa de “glaze”, sobre oito fundos (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica e linha verde limite de percepção). 143

Figura 4. 6 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de NPALU sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). 144

Figura 4. 7 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de NPZRW sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). 145

Figura 4. 8 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de ZZRTC sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). 145

Figura 4. 9 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de ZZRPC sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). 146

Secção 5

Figura 5. 1 – Materiais de infraestrutura utilizados. 155

| | |
|--|-----|
| Figura 5. 2- Diferença de % média de transmitância entre as etapa de estrutura e de “glaze”, para os grupos de materiais nos dois protocolos de queima..... | 158 |
| Figura 5. 3 - % média de transmitância de cada grupo na etapa de “glaze” (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas). | 159 |
| Figura 5. 4 - Curvas espectrais após “Glaze”, de grupos sinterizados com protocolo do fabricante e com protocolo alternativo, obtidas com o espécime com valor de %T mais aproximado à média do grupo. | 160 |
| Figura 5. 5 - Distribuição dos valores de ΔE^* de cada grupo de materiais de estrutura após etapa de “glaze”, sobre oito fundos, nos dois protocolos de queima (Linha vermelha representa limite de aceitabilidade clínica e linha verde limite de percepção)..... | 162 |
| Figura 5. 6 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de NPALU sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 163 |
| Figura 5. 7 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de NPZRW sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 164 |
| Figura 5. 8 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de ZZRTW sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 164 |
| Figura 5. 9 - Distribuição dos valores de ΔE^* após “glaze” para grupos de ZZRPC sobre todos os fundos (os grupos representados sob a mesma linha não apresentam diferenças estatisticamente significativas)..... | 165 |

2 - ÍNDICE DE TABELAS

Secção 2

Tabela 2. 1 – Grupos experimentais constituídos (n=5)..... 42

Tabela 2. 2 – Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão de cada grupo nas etapas investigadas (n=5)..... 62

Tabela 2. 3 – Valores de p obtido com comparações múltiplas segundo Mann-Whitney com correção de Bonferroni entre técnicas de recobrimento, em cada um dos três materiais de estrutura. (* significância estatística) 65

Tabela 2. 4 – Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de estrutura (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$) 68

Tabela 2. 5 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5).
(Valores a **vermelho** - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a **verde** - $\Delta E^* \leq 1,6$) 69

Secção 3

Tabela 3. 1 - Grupos experimentais 97

Tabela 3. 2 – Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão de cada grupo em cada etapa, bem como a diferença em % entre as duas etapas (n=5)..... 101

| | |
|--|-----|
| Tabela 3. 3 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de estrutura (n=5). (Valores a vermelho - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a verde - $\Delta E^* \leq 1,6$)..... | 106 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 3. 4 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5). (Valores a vermelho - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a verde - $\Delta E^* \leq 1,6$) | 106 |
|---|-----|

Secção 4

| | |
|--|-----|
| Tabela 4. 1 - Grupos experimentais | 137 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 4. 2 - Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão (DP) de cada grupo em cada etapa, bem como a diferença em % entre as duas etapas (n=5)..... | 139 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Tabela 4. 3 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5). (Valores a vermelho - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a verde - $\Delta E^* \leq 1,6$) | 142 |
|--|-----|

Secção 5

| | |
|--|-----|
| Tabela 5. 1 - Grupos experimentais | 155 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Tabela 5. 2 – Protocolos de queima utilizados..... | 156 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 5. 3 – Distribuição dos valores da % média de transmitância e do respetivo desvio padrão (DP) de cada grupo em cada etapa, bem como a diferença em % entre as duas etapas (n=5)..... | 158 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Tabela 5. 4 - Distribuição dos valores de ΔE^* e do respetivo desvio padrão (DP) de cada grupo sobre cada fundo na etapa de “glaze” (n=5). (Valores a vermelho - $\Delta E^* > 3,7$; Valores a preto - $\Delta E^* \leq 3,7$; Valores a verde - $\Delta E^* \leq 1,6$) | 161 |
|--|-----|

APÊNDICE

- 1- Dados do estudo da influêncis das técnicas de recobrimento**
- 2- Dados do estudo da influência dos materiais de estrutura**
- 3- Dados do estudo da influência da utilização de cerâmica de “liner”**
- 4- Dados do estudo da influência da alteração do protocolo de queima**

1 – Dados do estudo de influência da técnica de recobrimento
Espectroscopia de transmissão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | Transmitância | |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|---------|
| | | | | | | Estrutura | "Grise" |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.6230 | .3598 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3202 | .3598 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.0679 | .3469 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.4800 | .3492 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5072 | .3600 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.0784 | .4406 |
| 7 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.7257 | .5001 |
| 8 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.6807 | .5182 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.5037 | .5017 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.5509 | .4690 |
| 11 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1.6772 | .3744 |
| 12 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1.5282 | .3799 |
| 13 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1.0822 | .3629 |
| 14 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1.5691 | .3559 |
| 15 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1.3917 | .3843 |
| 16 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7146 | .2135 |
| 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7116 | .2227 |
| 18 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7236 | .2069 |
| 19 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7107 | .2045 |
| 20 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7047 | .2032 |
| 21 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | .7587 | .3326 |
| 22 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | .7477 | .3157 |
| 23 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | .7376 | .3094 |
| 24 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | .7425 | .3315 |
| 25 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | .7298 | .3581 |
| 26 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | .7284 | .2926 |
| 27 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | .7340 | .3100 |
| 28 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | .7336 | .2907 |
| 29 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | .7352 | .3021 |
| 30 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | .7306 | .3275 |
| 31 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6461 | .1962 |
| 32 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .5067 | .1765 |
| 33 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6285 | .1923 |
| 34 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6294 | .1891 |
| 35 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6030 | .1754 |
| 36 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | .6246 | .3261 |
| 37 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | .6300 | .2968 |
| 38 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | .6524 | .2781 |
| 39 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | .5885 | .3065 |
| 40 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | .6379 | .3026 |
| 41 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | .6159 | .2726 |
| 42 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | .6662 | .2524 |
| 43 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | .6259 | .2983 |
| 44 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | .6517 | .2539 |
| 45 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | .6450 | .2910 |

1 – Dados do estudo de influência da técnica de recobrimento

Espectroscopia de reflexão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | AE Estrutura | | | | Zircônia | | | | Al ³⁺ "Glaize" | | | | Titânio | Zircônia |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-----------|---------|---------|----------|---------------------------|-------------|--------------|---------------|---------|----------|
| | | | | | | CCP polido | CCP liteado | Ag-Pd polido | Ag-Pd liteado | Composito | Dentina | Titânio | Zircônia | CCP polido | CCP liteado | Ag-Pd polido | Ag-Pd liteado | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6,5 | 12,9 | 2,4 | 8,8 | 3,9 | 3,3 | 8,9 | 11,3 | 2,2 | 1,8 | 4 | 1,2 | 3,8 | 1,2 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,8 | 13,3 | 2,4 | 8,9 | 3,9 | 4,2 | 9,5 | 10,9 | 1,7 | 2,3 | 4 | 1,8 | 3,0 | 2,4 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8,8 | 14,7 | 4,6 | 10,9 | 8,8 | 2,9 | 11,3 | 12,8 | 1,0 | 2,6 | 6 | 1,6 | 2,1 | 5 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,5 | 12,4 | 3,9 | 7,5 | 6,5 | 3,9 | 8,1 | 11,3 | 9 | 2,7 | 6 | 8 | 2,4 | 1,8 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7,2 | 13,0 | 3,5 | 8,5 | 7,6 | 2,9 | 9,4 | 12,9 | 1,7 | 2,6 | 7 | 1,8 | 2,9 | 2,7 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 6,1 | 12,8 | 2,8 | 8,8 | 3,1 | 6,1 | 8,9 | 9,1 | 3,3 | 4,0 | 1,7 | 3,5 | 4,6 | 4,0 |
| 7 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 8,0 | 14,1 | 3,4 | 9,3 | 2,8 | 8,9 | 11,1 | 11,9 | 2,9 | 5,9 | 1,2 | 3,5 | 5,0 | 5,2 |
| 8 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 5,2 | 10,9 | 3,9 | 7,5 | 2,7 | 7,2 | 8,4 | 10,3 | 2,8 | 5,4 | 1,7 | 3,9 | 5,7 | 5,1 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 5,9 | 12,6 | 3,4 | 8,5 | 2,9 | 7,6 | 8,9 | 10,0 | 2,6 | 4,3 | 1,3 | 4,1 | 5,4 | 5,7 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 6,9 | 13,4 | 3,1 | 8,7 | 3,0 | 7,9 | 9,7 | 11,4 | 2,2 | 4,4 | 1,4 | 2,4 | 4,8 | 4,5 |
| 11 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 7,9 | 13,8 | 3,3 | 9,4 | 2,1 | 8,7 | 10,6 | 12,5 | 8,8 | 10,3 | 7,4 | 9,1 | 11,9 | 11,1 |
| 12 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 6,8 | 13,5 | 3,0 | 9,4 | 2,2 | 7,3 | 9,9 | 11,8 | 9,6 | 11,6 | 8,6 | 10,0 | 10,9 | 11,3 |
| 13 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 9,0 | 14,5 | 4,0 | 10,4 | 3,7 | 9,8 | 11,9 | 13,7 | 11,1 | 13,6 | 11,1 | 12,3 | 12,9 | 11,8 |
| 14 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 6,6 | 12,6 | 3,9 | 6,6 | 3,9 | 8,2 | 9,2 | 10,9 | 12,4 | 12,2 | 9,7 | 13,7 | 12,0 | 11,4 |
| 15 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 8,7 | 13,4 | 4,3 | 9,0 | 3,0 | 9,8 | 10,9 | 13,7 | 10,8 | 12,6 | 10,1 | 11,2 | 12,4 | 12,3 |
| 16 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16,4 | 19,2 | 12,4 | 15,9 | 15,5 | 9,9 | 17,8 | 19,9 | 8 | 6 | 1,2 | 6 | 5 | 6 |
| 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 15,6 | 18,5 | 10,8 | 16,2 | 15,8 | 9,5 | 17,8 | 19,9 | 8 | 5 | 1,3 | 4 | 6 | 8 |
| 18 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16,6 | 19,3 | 12,4 | 17,7 | 16,2 | 11,3 | 18,3 | 19,6 | 7 | 4 | 1,5 | 8 | 7 | 7 |
| 19 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 17,4 | 19,2 | 12,0 | 16,6 | 16,6 | 10,9 | 17,7 | 18,7 | 1,2 | 6 | 1,7 | 9 | 1,2 | 9 |
| 20 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16,5 | 19,5 | 13,1 | 16,5 | 16,6 | 11,1 | 17,7 | 20,3 | 1,8 | 5 | 1,9 | 1,8 | 1,4 | 1,1 |
| 21 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 16,5 | 19,2 | 12,0 | 16,0 | 15,5 | 12,0 | 17,3 | 20,0 | 1,4 | 2,0 | 1,2 | 1,7 | 2,6 | 2,5 |
| 22 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 16,5 | 18,4 | 13,2 | 16,6 | 15,9 | 13,4 | 17,9 | 19,5 | 2,2 | 2,9 | 1,7 | 2,2 | 2,8 | 2,9 |
| 23 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 17,8 | 19,8 | 14,3 | 16,5 | 16,0 | 13,9 | 18,0 | 20,1 | 1,8 | 2,5 | 1,4 | 2,2 | 2,1 | 1,8 |
| 24 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 17,1 | 19,6 | 14,3 | 16,5 | 16,0 | 13,7 | 17,9 | 19,7 | 1,6 | 3,1 | 2,6 | 3,2 | 2,4 | 2,4 |
| 25 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 17,9 | 19,6 | 13,7 | 15,9 | 16,0 | 13,2 | 17,7 | 19,7 | 4,6 | 4,4 | 2,5 | 3,9 | 4,7 | 3,8 |
| 26 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 16,1 | 18,6 | 11,0 | 15,6 | 14,7 | 10,7 | 17,4 | 17,9 | 4,8 | 5,5 | 5,7 | 5,7 | 5,8 | 5,3 |
| 27 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 15,5 | 17,6 | 10,5 | 14,6 | 13,9 | 9,6 | 16,5 | 17,9 | 4,6 | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 4,2 | 6,0 |
| 28 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 17,6 | 19,1 | 12,0 | 16,4 | 13,8 | 9,0 | 18,3 | 18,1 | 5,5 | 6,1 | 4,8 | 6,0 | 6,3 | 5,8 |
| 29 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 16,6 | 19,2 | 10,7 | 15,9 | 14,1 | 9,2 | 17,7 | 19,2 | 5,5 | 5,3 | 5,8 | 5,2 | 5,6 | 5,7 |
| 30 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 15,8 | 18,4 | 11,3 | 15,5 | 14,9 | 9,4 | 17,0 | 18,2 | 2,9 | 3,1 | 3,9 | 3,0 | 4,0 | 3,2 |
| 31 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 8,8 | 15,3 | 4,6 | 11,6 | 10,4 | 8,1 | 11,6 | 10,3 | 5 | 8 | 1,5 | 1,2 | 9 | 9 |
| 32 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 7,2 | 14,5 | 5,8 | 11,8 | 10,1 | 8,2 | 11,6 | 9,0 | 1,1 | 9 | 1,4 | 1,3 | 1,0 | 1,2 |
| 33 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 8,5 | 14,3 | 4,3 | 10,8 | 10,2 | 7,9 | 11,3 | 9,0 | 1,5 | 1,1 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 1,3 |
| 34 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 8,7 | 13,6 | 4,6 | 10,2 | 10,1 | 8,0 | 11,3 | 8,3 | 1,2 | 9 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,0 |
| 35 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 10,2 | 14,9 | 5,5 | 12,4 | 10,8 | 9,5 | 13,4 | 10,4 | 1,9 | 5 | 1,8 | 1,1 | 1,4 | 1,0 |
| 36 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | 7,6 | 12,7 | 3,3 | 8,4 | 9,4 | 5,3 | 10,2 | 7,2 | 1,6 | 1,0 | 1,8 | 7 | 1,0 | 9 |
| 37 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | 8,6 | 11,8 | 3,2 | 9,1 | 9,2 | 4,8 | 10,2 | 7,0 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 2,1 |
| 38 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | 9,4 | 15,0 | 4,4 | 11,7 | 9,6 | 4,8 | 12,3 | 8,6 | 1,7 | 2,7 | 1,8 | 1,8 | 2,2 | 2,0 |
| 39 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | 7,2 | 12,5 | 2,7 | 8,6 | 8,7 | 4,5 | 9,4 | 6,7 | 2,7 | 3,3 | 2,6 | 2,9 | 2,7 | 2,9 |
| 40 | 8 | 3 | 2 | 1 | 2 | 9,0 | 14,7 | 3,9 | 8,5 | 8,5 | 4,9 | 12,2 | 8,2 | 2,8 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,5 |
| 41 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 8,5 | 14,0 | 4,0 | 10,3 | 7,3 | 4,2 | 11,3 | 7,7 | 3,1 | 3,6 | 2,2 | 3,3 | 3,6 | 4,3 |
| 42 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 8,7 | 14,2 | 3,5 | 10,4 | 9,0 | 3,4 | 11,6 | 8,4 | 5,5 | 6,7 | 5,9 | 5,7 | 6,1 | 6,6 |
| 43 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 9,0 | 14,2 | 3,8 | 10,7 | 9,9 | 4,9 | 11,5 | 8,6 | 5,5 | 6,7 | 5,9 | 6,0 | 8,3 | 6,4 |
| 44 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 8,6 | 14,3 | 3,7 | 10,2 | 8,2 | 3,0 | 11,4 | 8,3 | 5,8 | 6,1 | 5,5 | 7,1 | 6,5 | 6,2 |
| 45 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 8,6 | 14,3 | 3,8 | 10,3 | 8,4 | 3,3 | 11,2 | 8,4 | 3,5 | 5,0 | 3,2 | 4,3 | 4,2 | 6,1 |

2 – Dados do estudo de influência do material de estrutura

Espectroscopia de transmissão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | Transmitância | |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|---------|
| | | | | | | Estrutura | "Glaze" |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.6230 | .3727 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3202 | .3625 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.0679 | .3515 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.4800 | .3343 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5072 | .3666 |
| 6 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7146 | .2195 |
| 7 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7116 | .2173 |
| 8 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7236 | .2134 |
| 9 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7107 | .2142 |
| 10 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7047 | .2078 |
| 11 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6461 | .1989 |
| 12 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .5067 | .1968 |
| 13 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6285 | .1926 |
| 14 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6294 | .1945 |
| 15 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | .6030 | .1801 |
| 16 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | .7599 | .2260 |
| 17 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | .7596 | .2157 |
| 18 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | .7602 | .1775 |
| 19 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | .7510 | .1905 |
| 20 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | .7527 | .1867 |
| 21 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | .5224 | .1591 |
| 22 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | .5170 | .1591 |
| 23 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | .4910 | .1677 |
| 24 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | .5194 | .1578 |
| 25 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | .4988 | .1466 |
| 26 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | .7187 | .1931 |
| 27 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | .7961 | .1946 |
| 28 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | .7978 | .1953 |
| 29 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | .7866 | .1899 |
| 30 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | .7751 | .1745 |
| 31 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | .7177 | .2357 |
| 32 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | .6533 | .2283 |
| 33 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | .6894 | .2120 |
| 34 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | .6843 | .2004 |
| 35 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | .6998 | .2168 |

2 – Dados do estudo de influência do material de estrutura

Espectroscopia de reflexão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | AE Estrutura | | | | | AE "Glaze" | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------|-------|----------|------------|-------------|--------------|---------------|-----------|---------|-------|----------|
| | | | | | | CCP polido | CCP jateado | Ag-Pd polido | Ag-Pd jateado | Composito | Dentina | Tiêno | Zircônia | CCP polido | CCP jateado | Ag-Pd polido | Ag-Pd jateado | Composito | Dentina | Tiêno | Zircônia |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6,5 | 12,9 | 2,4 | 8,8 | 3,9 | 3,3 | 8,9 | 11,3 | 2,2 | 1,8 | ,4 | 1,2 | 3,8 | 2,6 | 1,2 | 1,4 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,8 | 13,3 | 2,4 | 8,9 | 3,9 | 4,2 | 9,5 | 10,9 | 1,7 | 2,3 | ,4 | 1,8 | 3,0 | 3,4 | 2,4 | ,9 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8,8 | 14,7 | 4,6 | 10,9 | 8,8 | 2,9 | 11,3 | 12,8 | 1,0 | 2,6 | ,6 | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 1,7 | ,5 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,5 | 12,4 | 3,9 | 7,5 | 6,5 | 3,9 | 8,1 | 11,3 | ,9 | 2,7 | ,6 | ,8 | 2,4 | 1,3 | 1,8 | 1,2 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7,2 | 13,0 | 3,5 | 8,5 | 7,6 | 2,9 | 9,4 | 12,9 | 1,7 | 2,6 | ,7 | 1,8 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 1,3 |
| 6 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16,4 | 19,2 | 12,4 | 15,9 | 15,5 | 9,9 | 17,8 | 19,9 | ,8 | ,6 | 1,2 | ,6 | ,5 | ,6 | ,5 | 1,2 |
| 7 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 15,6 | 18,5 | 10,8 | 16,2 | 15,8 | 9,5 | 17,8 | 19,9 | ,8 | ,5 | 1,3 | ,4 | ,6 | ,8 | ,5 | 1,3 |
| 8 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16,6 | 19,3 | 12,4 | 17,7 | 16,2 | 11,3 | 18,3 | 19,6 | ,7 | ,4 | 1,5 | ,8 | ,7 | ,7 | ,7 | 1,3 |
| 9 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 17,4 | 19,2 | 12,0 | 16,6 | 16,6 | 10,9 | 17,7 | 18,7 | 1,2 | ,6 | 1,7 | ,9 | 1,2 | ,9 | ,8 | 1,6 |
| 10 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16,5 | 19,5 | 13,1 | 16,5 | 16,6 | 11,1 | 17,7 | 20,3 | 1,8 | ,5 | 1,9 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 2,0 |
| 11 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 8,8 | 15,3 | 4,6 | 11,6 | 10,4 | 8,1 | 11,6 | 10,3 | ,5 | ,8 | 1,5 | 1,2 | ,9 | ,9 | ,9 | 1,5 |
| 12 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 7,2 | 14,5 | 5,8 | 11,8 | 10,1 | 8,2 | 11,6 | 9,0 | 1,1 | ,9 | 1,4 | 1,3 | 1,0 | 1,2 | ,9 | 1,3 |
| 13 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 8,5 | 14,3 | 4,3 | 10,8 | 10,2 | 7,9 | 11,3 | 9,0 | 1,5 | 1,1 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 1,3 | ,9 | 1,5 |
| 14 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 8,7 | 13,6 | 4,6 | 10,2 | 10,1 | 8,0 | 11,3 | 8,3 | 1,2 | ,9 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
| 15 | 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 10,2 | 14,9 | 5,5 | 12,4 | 10,8 | 9,5 | 13,4 | 10,4 | 1,9 | ,5 | 1,8 | 1,1 | 1,4 | 1,0 | 1,1 | 1,6 |
| 16 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | 14,7 | 16,8 | 8,9 | 12,7 | 15,3 | 12,5 | 15,6 | 17,5 | 2,2 | 1,6 | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 2,4 |
| 17 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | 14,6 | 16,9 | 9,6 | 13,5 | 15,5 | 13,4 | 16,3 | 15,3 | 2,8 | 2,5 | 3,1 | 2,8 | 2,7 | 2,9 | 2,7 | 3,1 |
| 18 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | 15,3 | 17,5 | 9,8 | 13,5 | 15,5 | 13,5 | 16,4 | 18,0 | 2,8 | 2,3 | 2,7 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 3,0 | 2,4 |
| 19 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | 15,8 | 17,4 | 10,0 | 13,9 | 16,0 | 13,6 | 16,1 | 18,4 | 2,5 | 1,8 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 2,2 |
| 20 | 10 | 4 | 1 | 1 | 2 | 15,4 | 17,3 | 10,4 | 13,6 | 15,8 | 13,6 | 16,2 | 18,9 | 2,0 | 2,0 | 1,7 | 2,8 | 1,9 | 1,5 | 1,6 | 2,0 |
| 21 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | 10,0 | 14,4 | 6,7 | 11,5 | 12,1 | 12,0 | 12,4 | 7,0 | 1,8 | 2,1 | 1,9 | 2,0 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,2 |
| 22 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | 9,7 | 15,7 | 8,7 | 12,6 | 13,2 | 13,7 | 14,3 | 7,9 | 1,5 | 1,8 | 1,8 | 2,1 | 2,2 | 1,6 | 1,7 | 2,3 |
| 23 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | 11,0 | 15,5 | 9,2 | 12,9 | 13,0 | 14,6 | 14,9 | 9,6 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 1,8 | 2,2 | 1,9 | 2,7 |
| 24 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | 13,0 | 16,6 | 8,7 | 14,4 | 12,3 | 13,7 | 14,3 | 8,5 | 6,5 | 6,4 | 6,2 | 6,4 | 6,3 | 6,4 | 6,1 | 6,2 |
| 25 | 11 | 5 | 1 | 1 | 2 | 12,1 | 13,7 | 9,4 | 13,3 | 12,4 | 13,1 | 12,5 | 7,1 | 4,6 | 4,0 | 4,7 | 4,4 | 3,9 | 4,2 | 4,3 | 4,0 |
| 26 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | 14,9 | 15,1 | 9,2 | 11,3 | 14,5 | 11,6 | 14,6 | 18,3 | 2,1 | 2,4 | 2,1 | 2,2 | 2,7 | 2,3 | 2,2 | 2,0 |
| 27 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | 13,9 | 15,4 | 8,9 | 11,1 | 14,3 | 11,4 | 14,2 | 18,2 | 3,6 | 3,9 | 3,6 | 3,6 | 3,8 | 3,8 | 4,0 | 3,6 |
| 28 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | 14,1 | 15,3 | 10,3 | 11,0 | 14,6 | 11,7 | 14,4 | 18,5 | 6,0 | 6,1 | 6,4 | 6,2 | 6,2 | 6,4 | 6,3 | 6,0 |
| 29 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | 13,8 | 15,1 | 9,0 | 11,0 | 14,4 | 11,3 | 14,4 | 18,1 | 3,6 | 3,5 | 3,3 | 3,5 | 3,5 | 3,0 | 3,3 | 3,4 |
| 30 | 12 | 6 | 1 | 1 | 2 | 14,0 | 15,0 | 9,5 | 12,3 | 14,1 | 11,5 | 14,3 | 17,6 | 2,2 | 2,8 | 2,0 | 1,6 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,9 |
| 31 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | 10,4 | 14,0 | 5,6 | 9,6 | 12,1 | 8,2 | 12,2 | 11,1 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 2,7 | 2,2 | 2,4 | 2,7 |
| 32 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | 8,9 | 13,0 | 4,8 | 8,5 | 11,0 | 7,5 | 10,8 | 9,4 | 1,1 | 1,6 | 1,4 | 1,6 | 2,2 | 1,5 | 2,4 | 2,0 |
| 33 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | 9,7 | 12,9 | 5,4 | 8,9 | 11,4 | 8,4 | 11,5 | 10,2 | 3,7 | 3,1 | 3,7 | 2,6 | 3,0 | 2,5 | 3,1 | 3,2 |
| 34 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | 9,0 | 12,9 | 4,9 | 8,6 | 10,8 | 7,7 | 10,9 | 9,4 | 3,0 | 3,1 | 3,4 | 2,6 | 3,3 | 3,6 | 3,1 | 3,4 |
| 35 | 13 | 7 | 1 | 1 | 2 | 9,3 | 13,0 | 4,9 | 8,6 | 11,3 | 7,8 | 11,3 | 11,1 | 1,6 | 1,5 | ,4 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,0 | 1,5 |

3 – Dados do estudo de influência da cerâmica de “liner” Espectroscopia de transmissão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Utilização de "liner" | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | Transmitância | |
|----------|-------|-------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|---------|
| | | | | | | | Estrutura | "Glaze" |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.6230 | .3727 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3202 | .3625 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.0679 | .3515 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.4800 | .3343 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5072 | .3666 |
| 6 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6461 | .1989 |
| 7 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | .5067 | .1968 |
| 8 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6285 | .1926 |
| 9 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6294 | .1945 |
| 10 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6030 | .1801 |
| 11 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | .5224 | .1591 |
| 12 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | .5170 | .1591 |
| 13 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | .4910 | .1677 |
| 14 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | .5194 | .1578 |
| 15 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | .4988 | .1466 |
| 16 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | .7177 | .2357 |
| 17 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6533 | .2283 |
| 18 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6894 | .2120 |
| 19 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6843 | .2004 |
| 20 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | .6998 | .2168 |
| 21 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.5451 | .4861 |
| 22 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.7672 | .4726 |
| 23 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.6934 | .4989 |
| 24 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.9332 | .4986 |
| 25 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1.6435 | .4654 |
| 26 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | .6547 | .3882 |
| 27 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | .6480 | .3580 |
| 28 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | .6426 | .3223 |
| 29 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | .6218 | .3462 |
| 30 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | .6339 | .3627 |
| 31 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | .5681 | .3401 |
| 32 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | .5759 | .2985 |
| 33 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | .5828 | .3090 |
| 34 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | .5650 | .3293 |
| 35 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | .5703 | .3396 |
| 36 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | .6865 | .3775 |
| 37 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | .6976 | .3687 |
| 38 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | .7063 | .3705 |
| 39 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | .7001 | .3558 |
| 40 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | .7182 | .3760 |

3 – Dados do estudo de influência da cerâmica de “liner”

Espectroscopia de reflexão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Utilização de "liner" | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | Al Estrutura | | | | | Al "Glaze" | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------|------------|--------|----------|------------|-------------|--------------|---------------|----------|---------|--------|----------|
| | | | | | | | CCP polido | CCP jateado | Ag-Pd polido | Ag-Pd jateado | Composto | Dentina | Tiânio | Zircônia | CCP polido | CCP jateado | Ag-Pd polido | Ag-Pd jateado | Composto | Dentina | Tiânio | Zircônia |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6,5 | 12,9 | 2,4 | 8,8 | 3,9 | 3,3 | 8,9 | 11,3 | 2,2 | 1,8 | 4 | 1,2 | 3,8 | 2,6 | 1,2 | 1,4 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,8 | 13,3 | 2,4 | 8,9 | 3,9 | 4,2 | 9,5 | 10,9 | 1,7 | 2,3 | 4 | 1,8 | 3,0 | 3,4 | 2,4 | 9 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8,8 | 14,7 | 4,6 | 10,9 | 8,8 | 2,9 | 11,3 | 12,8 | 1,0 | 2,6 | 6 | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 1,7 | 5 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,5 | 12,4 | 3,9 | 7,5 | 6,5 | 3,9 | 8,1 | 11,3 | 9 | 2,7 | 6 | 1,8 | 2,4 | 1,3 | 1,8 | 1,2 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7,2 | 13,0 | 3,5 | 8,5 | 7,6 | 2,9 | 9,4 | 12,9 | 1,7 | 2,6 | 7 | 1,8 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 1,3 |
| 6 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 8,8 | 15,3 | 4,6 | 11,6 | 10,4 | 8,1 | 11,6 | 10,3 | 5 | 8 | 1,5 | 1,2 | 9 | 9 | 9 | 1,5 |
| 7 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7,2 | 14,5 | 5,8 | 11,8 | 10,1 | 8,2 | 11,6 | 9,0 | 1,1 | 9 | 1,4 | 1,3 | 1,0 | 1,2 | 9 | 1,3 |
| 8 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 8,5 | 14,3 | 4,3 | 10,8 | 10,2 | 7,9 | 11,3 | 9,0 | 1,5 | 1,1 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 1,3 | 9 | 1,5 |
| 9 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 8,7 | 13,6 | 4,5 | 10,2 | 10,1 | 8,0 | 11,3 | 8,3 | 1,2 | 9 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
| 10 | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 10,2 | 14,9 | 5,5 | 12,4 | 10,8 | 9,5 | 13,4 | 10,4 | 1,9 | 5 | 1,8 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 1,6 |
| 11 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 10,0 | 14,4 | 6,7 | 11,5 | 12,1 | 12,0 | 14,3 | 7,0 | 1,8 | 2,1 | 1,9 | 2,0 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,2 |
| 12 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9,7 | 15,7 | 8,7 | 12,6 | 13,2 | 13,7 | 14,3 | 7,9 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,2 | 1,6 | 1,7 | 2,3 | 2,3 |
| 13 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 11,0 | 15,5 | 9,2 | 12,9 | 13,0 | 14,6 | 14,9 | 9,6 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 1,8 | 2,2 | 1,9 | 2,7 |
| 14 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 13,0 | 16,6 | 8,7 | 14,4 | 12,3 | 13,7 | 14,3 | 8,5 | 6,5 | 6,4 | 6,2 | 6,4 | 6,3 | 6,4 | 6,1 | 6,2 |
| 15 | 11 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 12,1 | 13,7 | 9,4 | 13,3 | 12,4 | 13,1 | 12,5 | 7,1 | 4,6 | 4,0 | 4,7 | 4,4 | 3,9 | 4,2 | 4,3 | 4,0 |
| 16 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 10,4 | 14,0 | 5,6 | 9,6 | 12,1 | 8,2 | 12,2 | 11,1 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 2,7 | 2,2 | 2,4 | 2,7 |
| 17 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 8,9 | 13,0 | 4,8 | 8,5 | 11,0 | 7,5 | 10,8 | 9,4 | 1,1 | 1,6 | 1,4 | 1,6 | 2,2 | 1,5 | 2,4 | 2,0 |
| 18 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9,7 | 12,9 | 5,4 | 8,9 | 11,4 | 8,4 | 11,5 | 10,2 | 3,7 | 3,1 | 3,7 | 2,6 | 3,0 | 2,5 | 3,1 | 3,2 |
| 19 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9,0 | 12,9 | 4,9 | 8,6 | 10,8 | 7,7 | 10,9 | 9,4 | 3,0 | 3,1 | 3,4 | 2,6 | 3,3 | 3,6 | 3,1 | 1,9 |
| 20 | 13 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9,3 | 13,0 | 4,9 | 8,6 | 11,3 | 7,8 | 11,3 | 11,1 | 1,6 | 1,5 | 4 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,0 | 1,5 |
| 21 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11,0 | 9,3 | 3,8 | 6,7 | 9,8 | 7,6 | 9,8 | 11,2 | 3,1 | 4,3 | 1,6 | 2,5 | 4,8 | 4,3 | 4,2 | 2,5 |
| 22 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 7,5 | 10,9 | 2,9 | 5,8 | 9,2 | 6,1 | 9,3 | 10,5 | 3,1 | 5,6 | 1,1 | 3,3 | 5,0 | 4,6 | 4,4 | 2,7 |
| 23 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 7,5 | 13,3 | 2,8 | 6,7 | 9,8 | 5,2 | 10,4 | 10,1 | 3,0 | 5,6 | 1,3 | 3,5 | 5,1 | 4,4 | 4,3 | 2,3 |
| 24 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 8,2 | 10,3 | 2,5 | 5,6 | 8,7 | 6,3 | 7,8 | 10,6 | 3,2 | 3,0 | 1,7 | 3,9 | 5,4 | 4,8 | 4,6 | 2,9 |
| 25 | 14 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 6,3 | 12,6 | 2,3 | 6,6 | 9,2 | 5,8 | 9,7 | 9,1 | 2,7 | 5,4 | 1,2 | 3,4 | 4,6 | 4,5 | 3,8 | 2,2 |
| 26 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 8,3 | 12,9 | 4,2 | 9,5 | 9,1 | 4,4 | 10,5 | 8,8 | 5,3 | 5,1 | 4,5 | 5,2 | 5,5 | 4,5 | 5,2 | 5,1 |
| 27 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 8,7 | 13,2 | 3,8 | 9,3 | 9,2 | 4,7 | 10,7 | 9,5 | 5,5 | 5,7 | 4,8 | 5,2 | 4,7 | 4,9 | 5,3 | 5,7 |
| 28 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 8,8 | 14,0 | 4,1 | 10,7 | 9,2 | 4,3 | 11,6 | 8,7 | 3,1 | 4,7 | 3,7 | 3,9 | 4,7 | 4,7 | 4,5 | 4,2 |
| 29 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 9,0 | 14,2 | 4,7 | 10,7 | 9,3 | 4,8 | 11,0 | 8,2 | 2,3 | 4,0 | 2,1 | 2,4 | 3,5 | 3,3 | 3,1 | 2,6 |
| 30 | 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 8,5 | 14,2 | 3,9 | 11,0 | 8,9 | 5,4 | 11,6 | 7,3 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 3,1 | 3,9 | 4,2 | 3,9 | 3,1 |
| 31 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10,9 | 15,5 | 8,8 | 12,5 | 12,3 | 11,0 | 13,7 | 7,3 | 2,6 | 4,2 | 1,7 | 2,9 | 3,8 | 3,6 | 3,6 | 2,2 |
| 32 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9,6 | 14,6 | 8,5 | 12,2 | 12,3 | 10,7 | 13,4 | 6,9 | 2,4 | 3,8 | 1,7 | 2,6 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 2,3 |
| 33 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10,0 | 14,6 | 7,9 | 11,9 | 11,8 | 10,0 | 13,1 | 6,9 | 3,4 | 4,4 | 3,3 | 3,7 | 3,7 | 4,2 | 4,3 | 3,6 |
| 34 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10,9 | 15,2 | 8,3 | 11,6 | 12,3 | 10,3 | 13,3 | 7,3 | 4,3 | 5,3 | 3,9 | 4,3 | 5,1 | 4,8 | 4,7 | 4,4 |
| 35 | 16 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10,5 | 15,1 | 8,4 | 11,7 | 12,0 | 10,1 | 13,4 | 7,1 | 2,7 | 4,4 | 2,2 | 3,4 | 4,2 | 3,9 | 3,7 | 2,2 |
| 36 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9,4 | 13,4 | 5,1 | 9,0 | 11,6 | 8,3 | 11,6 | 10,8 | 3,1 | 4,7 | 1,9 | 3,2 | 4,3 | 4,0 | 3,0 | 3,0 |
| 37 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9,7 | 13,2 | 5,5 | 8,7 | 11,6 | 8,1 | 11,5 | 11,3 | 4,2 | 5,7 | 3,0 | 4,0 | 5,1 | 4,7 | 4,7 | 4,1 |
| 38 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9,8 | 13,6 | 5,4 | 8,9 | 11,5 | 7,7 | 11,7 | 10,9 | 3,6 | 4,6 | 2,4 | 3,5 | 4,5 | 4,2 | 4,5 | 3,7 |
| 39 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9,8 | 13,1 | 5,5 | 9,1 | 11,7 | 8,7 | 11,7 | 11,3 | 4,3 | 5,6 | 3,4 | 4,4 | 5,2 | 4,4 | 4,7 | 4,1 |
| 40 | 17 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10,0 | 13,7 | 5,6 | 9,3 | 11,9 | 8,0 | 12,0 | 11,6 | 3,8 | 5,4 | 2,8 | 4,0 | 4,9 | 4,9 | 4,7 | 3,8 |

4 – Dados do estudo de influência do protocolo de queima

Espectroscopia de transmissão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | Transmitância | |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|---------|
| | | | | | | Estrutura | "Glaze" |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.6230 | .3727 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3202 | .3625 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.0679 | .3515 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.4800 | .3343 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5072 | .3666 |
| 6 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7146 | .2195 |
| 7 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7116 | .2173 |
| 8 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7236 | .2134 |
| 9 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7107 | .2142 |
| 10 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7047 | .2078 |
| 11 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | .7599 | .2260 |
| 12 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | .7596 | .2157 |
| 13 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | .7602 | .1775 |
| 14 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | .7510 | .1905 |
| 15 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | .7527 | .1867 |
| 16 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.3597 | .4015 |
| 17 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.3733 | .3859 |
| 18 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.2969 | .3728 |
| 19 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.3825 | .3943 |
| 20 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.5200 | .3740 |
| 21 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | .7342 | .2509 |
| 22 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | .7395 | .2348 |
| 23 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | .7228 | .2354 |
| 24 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | .7253 | .2354 |
| 25 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | .7392 | .2501 |
| 26 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | .7613 | .2328 |
| 27 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | .7546 | .2313 |
| 28 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | .7621 | .2479 |
| 29 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | .7616 | .2339 |
| 30 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | .7545 | .2320 |
| 31 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | .7181 | .2197 |
| 32 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | .7085 | .2590 |
| 33 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | .7268 | .2257 |
| 34 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | .7317 | .2398 |
| 35 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | .7297 | .2424 |
| 36 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | .7177 | .2357 |
| 37 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | .6533 | .2283 |
| 38 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | .6894 | .2120 |
| 39 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | .6843 | .2004 |
| 40 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | .6998 | .2168 |

4 – Dados do estudo de influência do protocolo de queima

Espectroscopia de reflexão

| Espécime | Grupo | Tipo de estrutura | Técnica de recobrimento | Protocolo de queima | Cerâmica de recobrimento | ΔE "Glaze" | | | | | Dentina | Titânio | Zircônia |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------|---------|---------|----------|
| | | | | | | CCP polido | CCP latedado | Ag-Pd polido | Ag-Pd latedado | Composito | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2.2 | 1.8 | .4 | 1.2 | 3.8 | 2.6 | 1.2 | 1.4 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.7 | 2.3 | .4 | 1.8 | 3.0 | 3.4 | 2.4 | .9 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.0 | 2.6 | .6 | 1.6 | 2.1 | 2.5 | 1.7 | .5 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | .9 | 2.7 | .6 | .8 | 2.4 | 1.3 | 1.8 | 1.2 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.7 | 2.6 | .7 | 1.8 | 2.9 | 2.7 | 2.6 | 1.3 |
| 6 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .8 | .6 | 1.2 | .6 | .5 | .6 | .5 | 1.2 |
| 7 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .8 | .5 | 1.3 | .4 | .6 | .8 | .5 | 1.3 |
| 8 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | .7 | .4 | 1.5 | .8 | .7 | .7 | .7 | 1.3 |
| 9 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1.2 | .6 | 1.7 | .9 | 1.2 | .9 | .8 | 1.6 |
| 10 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1.8 | .5 | 1.9 | 1.8 | 1.4 | 1.1 | 1.1 | 2.0 |
| 11 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2.2 | 1.6 | 2.0 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 2.1 | 2.4 |
| 12 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2.8 | 2.5 | 3.1 | 2.8 | 2.7 | 2.9 | 2.7 | 3.1 |
| 13 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2.8 | 2.3 | 2.7 | 2.3 | 2.4 | 2.6 | 3.0 | 2.4 |
| 14 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2.5 | 1.8 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 2.0 | 2.2 |
| 15 | 10 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2.0 | 2.0 | 1.7 | 2.8 | 1.9 | 1.5 | 1.6 | 2.0 |
| 16 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2.6 | 4.2 | 1.8 | 2.7 | 3.4 | 3.3 | 3.1 | 2.6 |
| 17 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.9 | 3.0 | 1.4 | 1.9 | 3.2 | 2.8 | 3.1 | 1.8 |
| 18 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.1 | 2.7 | .5 | 1.5 | 2.4 | 2.2 | 2.2 | .9 |
| 19 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.3 | 1.9 | .8 | 2.1 | 3.3 | 3.1 | 3.1 | 2.6 |
| 20 | 18 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.8 | 1.9 | 1.4 | 2.4 | 2.7 | 2.7 | 2.9 | 2.1 |
| 21 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2.6 | 2.3 | 3.0 | 2.6 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 2.6 |
| 22 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3.1 | 2.8 | 2.9 | 2.3 | 3.5 | 2.5 | 2.3 | 2.7 |
| 23 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3.3 | 3.1 | 3.4 | 2.8 | 3.7 | 3.6 | 2.7 | 3.1 |
| 24 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2.0 | 2.2 | 1.2 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.4 |
| 25 | 19 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1.1 | 1.7 | 2.2 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 2.1 |
| 26 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2.1 | 1.5 | 2.3 | 1.7 | 1.0 | 1.3 | 1.1 | 2.5 |
| 27 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3.7 | 4.4 | 3.7 | 4.1 | 3.8 | 4.1 | 3.9 | 4.7 |
| 28 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | 6.5 | 6.1 | 6.0 | 5.5 | 5.7 | 5.8 | 5.6 | 6.2 |
| 29 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3.7 | 3.4 | 2.6 | 3.6 | 3.4 | 3.5 | 3.1 | 3.9 |
| 30 | 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2.3 | 1.1 | 2.2 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.1 | 2.7 |
| 31 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1.9 | 1.7 | 2.1 | 1.4 | 1.9 | 1.7 | 2.2 | 1.8 |
| 32 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1.9 | 1.6 | 1.9 | 1.6 | 2.1 | 1.9 | 2.0 | 2.5 |
| 33 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4.3 | 3.7 | 4.4 | 3.5 | 4.2 | 4.0 | 4.3 | 4.4 |
| 34 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.4 | 2.7 | 4.0 | 4.1 | 2.1 |
| 35 | 21 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2.5 | 2.7 | 2.0 | 2.1 | 2.9 | 2.3 | 2.2 | 2.2 |
| 36 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2.2 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 2.7 | 2.2 | 2.4 | 2.7 |
| 37 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1.1 | 1.6 | 1.4 | 1.6 | 2.2 | 1.5 | 2.4 | 2.0 |
| 38 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | 3.7 | 3.1 | 3.7 | 2.6 | 3.0 | 2.5 | 3.1 | 3.2 |
| 39 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | 3.0 | 3.1 | 3.4 | 2.6 | 3.3 | 3.6 | 3.1 | 1.9 |
| 40 | 13 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1.6 | 1.5 | .4 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.0 | 1.5 |